

# PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM Internationales Büro INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6: (11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/07340 F16C 39/06 A1 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 27. Februar 1997 (27.02.97)

PCT/CH96/00286 (21) Internationales Aktenzeichen:

(22) Internationales Anmeldedatum: 19. August 1996 (19.08.96)

(30) Prioritätsdaten: 18. August 1995 (18.08.95) CH 2367/95-8 30. Juli 1996 (30.07.96) 96810507.2 EP

(34) Länder für die die regionale oder internationale Anmeldung eingereicht

AT usw.

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): SULZER ELECTRONICS AG [CH/CH]; Hegifeldstrasse 30, Postfach 56, CH-8409 Winterthur (CH). LUST ANTRIEBSTECH-NIK GMBH [DE/DE]; Gewerbestrasse 5-9, Postfach 44, D-35633 Lahnau (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Eründer/Anmelder (nur für US): SCHÖB, Reto [CH/CH]; Ackerstrasse 75E, CH-8604 Volketswil (CH).

(74) Anwalt: SULZER MANAGEMENT AG; KS/Patente/0007, Zürcherstrasse 12, CH-8401 Winterthur (CH).

(81) Bestimmungsstaaten: BR, JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

#### Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: MAGNETIC BEARING AND PROCESS FOR OPERATING IT

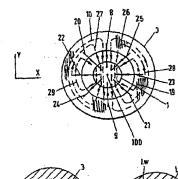
(54) Bezeichnung: MAGNETISCHE LAGER VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM BETRIEB DERSELBEN

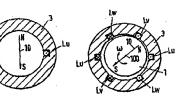
#### (57) Abstract

The invention relates to a contactless bearing for a rotor (1) by means of induction motor stators (3, 4). The induction motor stators (3, 4) are magnetically coupled on the one hand via the rotor (1) of ferromagnetic material and on the other via a forward conductance ring (16) of ferromagnetic material and/or a housing of ferromagnetic material (18). To generate the radial magnetic bearing forces in the induction motor stators, there are means in the arrangement which generate single-pole magnetic currents (8, 9) through the induction motor stators on which are superimposed two-pole control currents (10, 11) which are controlled by the currents in two-pole rotary current windings (5, 6). The position of the rotor is detected via position sensors (12, 13, 14, 15). On the basis of the position signals, a control device calculates the necessary phase currents and powers the rotary current windings (5, 6) in such a way that the rotor is kept floating.

### (57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur berührungsfreien Lagerung eines Rotors (1) durch Drehfeldmaschinenstatoren (3, 4). Die Drehfeldmaschinenstatoren (3, 4) sind einerseits über den Rotor (1) aus ferromagnetischem Material und andererseits über einen Flussleitring (16) aus ferromagnetischem Material und/oder ein Gehäuse aus ferromagnetischem Material (18) magnetisch gekoppelt. Die radialen magnetischen Lagerkräfte in den Drehfeldmaschinen-





statoren werden dadurch erzeugt, dass in der Anordnung Mittel vorhanden sind, welche durch die Drehfeldmaschinenstatoren fliessende magnetische Unipolarflüsse (8, 9) erzeugen, welche Unipolarflüsse in den Drehfeldmaschinenstatoren (3, 4) durch zweipolige Steuerflüsse (10, 11) überlagert werden, welche Steuerflüsse durch die Ströme in zweipoligen Drehstromwicklungen (5, 6) gesteuert werden. Die Position des Rotors wird über Positionssensoren (12, 13, 14, 15) erfasst. Ein Regelgerät berechnet aufgrund der Positionssignale die notwendigen Phasenströme und speist die Drehstromwicklungen (5, 6) in der Weise, dass der Rotor in der Schwebe gehalten wird.

## LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

		GB	Vereinigtes Königreich	MX		Mexiko
AM	Armenien			NE		Niger
AT	Österreich	GE	Georgiesi	NL		Niederlande
ΑU	Australien	GN	Guinea	NO		Norwegen
BB	Barbados	GR	Gziechenland	NZ	×.	Neuseeland
BE	Belgien	HU	Ungarn	PL		Polen
BF	Burkina Faso	IE	Irland			
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT		Portugal
ВЈ	Benin	JP	Japan	RO		Rumānien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU		Russische Föderation
BY	Belgrus	KG ·	Kirgisistan	SD		Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE		Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	•	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI		Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK		Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN		Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ		Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD		Tschad
	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG		Togo
CS	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ		Tadschikistan
CZ	Deutschland	MC	Monacu	TT		Trinidad und Tobago
DE		MD	Republik Moldau	UA	•	Ukraine
DK	Dänemark Estland	MG	Madagaskar	UG		Uganda.
EE	-	ML	Mali	US		Vereinigte Staaten von Amerika
ES	Spanien			UZ		Usbekistan
FI	Finnland	MN	Mongolei	VN		Vietnam
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	*11		* *************************************
GA	Gabon	MW	Malawi			

## Magnetische Lagervorrichtung und Verfahren zum Betrieb derselben

- 10 Die Erfindung betrifft eine magnetische Lagervorrichtung gemäss dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betrieb derselben gemäss dem Oberbegriff von Anspruch 19.
- Aus der EP 0 612 928 ist bekannt, zur berührungsfreien
  15 Lagerung von Rotoren aktive Magnetlager einzusetzen. Das
  Prinzip der aktiven magnetischen Lagerung basiert auf der
  anziehenden Kraft von regelbaren Elektromagneten auf
  einen ferromagnetischen Rotor. Um die Lage des Rotors in
  radialer Richtung zu bestimmen sind drei u-förmige
- 20 Elektromagnete über den Umfang des Rotors verteilt angeordnet. Diese drei Magnetpaare bilden ein sogenanntes Radiallager. Ähnlich einem Kugellager kann das Radiallager den Rotor an einer Stelle in einer Ebene (xy-Richtung) festhalten. Da oft auch ein Kippen des
- 25 Rotors zu verhindern ist, wird dieser vorzugsweise durch zwei an unterschiedlichen Stellen angeordneten Radiallagern gehalten.

Diese bekannte magnetische Lagervorrichtung weist den Nachteil auf, dass die Elektromagnete u-förmig 30 ausgestaltet sind. Daher weist diese Lagervorrichtung über deren Umfang eine grössere Anzahl von Polwechsel auf, was erhöhte Wirbelstromverluste bewirkt. Ein weiterer Nachteil der bekannten Lagervorrichtung ist darin zu sehen, dass die Elektromagnete speziell gefertigt und entsprechend teuer sind, und dass für jedes u-förmig ausgestaltete Elektromagnet ein gesonderter, spezieller Leistungsverstärker notwendig ist, sodass zum Betrieb eines Radialmagnetlagers insgesamt drei separate Gleichstromsteller erforderlich sind.

10 Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung eine wirtschaftlich vorteilhaftere magnetische Lagervorrichtung auszubilden.

Diese Aufgabe wird gelöst mit einer magnetischen
Lagervorrichtung gemäss den Merkmalen von Anspruch 1. Die
Unteransprüche 2 bis 18 beziehen sich auf weitere,
vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung. Diese Aufgabe
wird weiter gelöst mit einem Verfahren zum Betrieb einer
Lagervorrichtung gemäss den Merkmalen von Anspruch 19.

Die Aufgabe wird insbesondere gelöst durch eine

20 magnetische Lagervorrichtung für einen magnetisierbaren
Körper, insbesondere eine rotierbare Welle, wobei die
Lagervorrichtung mindestens einen Drehfeldmaschinenstator
mit einer zweipoligen Drehfeldwicklung umfasst, wobei die
zweipolige Drehfeldwicklung dreiphasig ausgeführt ist,

25 und wobei der mindestens eine Drehfeldmaschinenstator
einen Stator bildet, und wobei die Lagervorrichtung erste
Mittel aufweist, welche im Drehfeldmaschinenstator einen
Unipolarfluss erzeugen. Diese ersten Mittel können zum
Beispiel als eine Axialspule oder ein Permanentmagent

30 ausgestaltet sein.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung umfasst die magnetische Lagervorrichtung zwei

- 3 -

Drehfeldmaschinenstatoren, welche in einer bezüglich der magnetgelagerten, rotierbaren Welle axialen Richtung versetzt angeordnet sind, sodass derart einen Stator mit zwei beabstandeten, aktiven magnetischen Lagerstellen ausgebildet ist, um die Welle durch magnetische Kräfte berührungsfrei zu halten.

In den vorliegenden Ausführungen wird unter dem Begriff Drehfeldmaschinenstator eine aus dem technischen Gebiet der elektrischen Maschinen bekannte Anordnung verstanden, nämlich ein Stator mit elektrischen Wicklungen zur Erzeugung eines magnetisches Feldes, wobei durch die Anzahl und die Lage der Wicklungen im Stator bei entsprechender Ansteuerung ein magnetisches Drehfeld erzeugbar ist. Unter einem zweipoligen Feld wird, wie in Fig. 1b dargestellt, ein in radialer Richtung innerhalb des Drehfeldmaschinenstator verlaufendes, zweipoliges magnetisches Feld verstanden. Unter einer zweipoligen Drehfeldwicklung wird eine Wicklung verstanden, die derart ausgestaltet und im Drehfeldmaschinenstator 20 angeordnet und derart ansteuerbar ist, dass im Drehfeldmaschinenstator ein zweipoliges, sich drehendes magnetisches Feld erzeugbar ist. Zur Erzeugung eines Drehfeldes in einem Drehfeldmaschinenstator bedarf es Wicklungen mit zumindest zwei unterschiedlichen Phasen, 25 d.h. unterschiedlicher Ansteuerung Fin einer bevorzugten Ausführungsform ist die Drehfeldwicklung des Drehfeldmaschinenstators dreiphasig ausgeführt, d.h. mit drei Stromzweigen. In einem Drehfeldmaschinenstator ist ein zweipoliges, sich drehendes Magentfeld erzeugbar, wobei die Drehfrequenz auch Null sein kann, sodass das zweipolige Magentfeld stillsteht. Die Ausrichtung dieses in radialer Richtung im Drehfeldmaschinenstator verlaufenden, zweipoligen stillstehenden Magnetfeld ist durch eine entsprechende Ansteuerung der dreiphasigen

35 Drehfeldwicklung in Umfangsrichtung des

Drehfeldmaschinenstators für einen beliebigen Winkel vorgebbar. In den vorliegenden Ausführungen wird unter einem Drehfeldmaschinenstator generell eine Anordnung verstanden zur Erzeugung eines zweipcligen magnetischen Drehfeldes, wobei ein derartiger Drehfeldmaschinenstator in einer Vielzahl möglicher Ausführungsformen ausgestaltbar ist.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung ist darin zu sehen, dass als Drehfeldmaschinenstator auch ein handelsüblicher, für eine elektrische Maschine gefertigter Drehfeldmaschinenstator, verwendbar ist zur Herstellung der erfindungsgemässen magnetischen Lagervorrichtung. Eine derartige magnetische Lagervorrichtung ist sehr kostengünstig herstellbar.

15 Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemässen magnetischen Lagervorrichtung ist darin zu sehen, dass zur Ansteuerung der Drehstromwicklung eines Drehfeldmaschinenstators ein handelsüblicher, billig käuflicher Umrichter genügt, um die Drehstromwicklungen mit einem Strom beliebig 20 wählbarer Amplitude und Frequenz zu versorgen. Insbesondere ist als Drehstromsteller ein konventioneller, dreiphasiger Drehstromsteller bzw. ein dreiphasiger Umrichter verwendbar. Bei diesen Drehstromstellern handelt es sich um ein Standardprodukt 25 zur Ansteuerung elektrischer Maschinen, weshalb ein derartiger Drehstromsteller sehr kostengünstig erhältlich ist. Der Drehstromsteller kann auch ein Drehfeld mit einer Frequzen von 0, das heisst ein stehendes magnetisches Feld erzeugen, wobei der Drehwinkel des Feldes bzw. die Phase frei wählbar vorgebbar ist. Die Summe der Ströme im Sternpunkt ist 0, da die Spulen miteinander verkoppelt sind.

in the state of the second of

· Stell Sales

- 5 -

Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, dass ein konventioneller, dreiphasiger Drehstromsteller meistens einen integrierten Microcontroller aufweist, welcher für Regelaufgaben verwendbar ist. Zur Verwendung des

5 Drehstromstellers als Ansteuervorrichtung für ein aktives magnetisches Lager bedarf es eines entsprechend angepassten Regelverfahrens, das üblicherweise in Form von Programmzeilen (Software) im Microcontroller des Drehstromstellers abgelegt werden kann. Somit kann die an sich aufwendige Signalverarbeitung weitgehend vom im Drehstromsteller integrieten Microcontroller durchgeführt werden, was Kosten für eine zusätzliche Signalverarbeitungsvorrichtung erspart.

Die erfindungsgemässe aktive, magnetische

Lagervorrichtung kann als ein Innenläufer, d.h. mit einem innenliegenden Rotor, oder als ein Aussenläufer, d.h. mit einem die Elektromagnete aussen umgebenden Rotor, ausgestaltet sein. Das aktive, magnetische Lager erfordert eine Vormagnetisierung, welche durch ein Permanentmagnet oder durch eine Spule mit einem Gleichstromanteil erzeugbar ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die magnetische Lagervorrichtung zweite Mittel auf, welche die Drehfeldmaschinenstatoren miteinander magnetisch koppeln. Diese zweiten Mittel können zum Beispiel Flussleitteile und/oder ein Gehäuse aus ferromagnetischen Material sein, welche die beiden Drehfeldmaschinenstatoren magnetisch miteinander verkoppeln.

5 . . · . . · . . ·

In einer vorteilhaften Ausführungsvariante besteht die magnetische Lagervorrichtung aus zwei Drehfeldmaschinenstatoren mit zweipoliger Drehstromwicklung welche in einer zu einem Rotor axialen

Richtung versetzt und bezüglich dem Rotor rotationssymmetrisch angeordnet sind. Der Rotor besteht aus einem ferromagnetischen Material. Die beiden Drehfeldmaschinenstatoren sind mittels Flussleitteilen 5 und/oder einem Gehäuse aus ferromagnetischen Material wie z.B. Gusseisen oder Stahl magnetisch miteinander verkoppelt. Durch einen Gleichstromanteil in zumindest einer der Drehstromwicklungen oder durch eine Axialspule oder durch ein Permanentmagnet ist ein magnetischer Unipolarfluss erzeugbar, welcher im Luftspalt des einen 10 Drehfeldmaschinenstators rotationssymmetrisch nach innen, d.h. aus dem Stator heraus und in den Rotor hinein verlaufend gerichtet ist, und im Luftspalt des andern Drehfeldmaschinenstators rotationssymmetrisch nach aussen, d.h. aus dem Rotor hinaus und in den Stator 15 hinein verlaufend gerichtet ist. Der magnetische Unipolarflusskreis schliesst sich in zum Rotor axialer Richtung einerseits über den Rotor selbst und andererseits über die Flussleitteile und/oder das Gehäuse aus ferromagnetischem Material. Wird ein 20 Drehfeldmaschinenstator mit einer dreiphasigen Drehstromwicklung verwendet, und der magnetische Unipolarfluss mit dieser Drehstromwicklung erzeugt, so ist hierzu auf Grund des Gleichstromanteils ein 25 belastbarer Sternpunkt notwendig, da ein Sternpunktstrom fliesst. Der Gleichstromanteil in der Dreiphasenwicklung bildet somit das erste Mittel zur Erzeugung des Unipolarflusses. Zusätzlich zum magnetischen Unipolarfluss kann in jeder Drehstromwicklung durch einen 30 durch die zweipolige Drehstromwicklung fliessenden Strom ein zweipoliger magnetischer Fluss, im folgenden als ein Radialsteuerfluss bezeichnet, erzeugt werden. Abgesehen von der magnetischen Sättigung kann der Radialsteuerfluss jeder Drehstromwicklung durch entsprechende Ansteuerung einen beliebigen Betrag und eine beliebige radial 35 verlaufende Richtung einnehmen. Die beiden bei zwei

- 7 -

Drehfeldmaschinenstatoren vorhanden magnetischen Radialsteuerflusskreise schliessen sich in radialer Richtung über die jeweiligen Drehfeldmaschinenstatoren und den von diesen umgebenen Rotorbereich. Die Radialsteuerflusskreise jedes Drehfeldmaschinenstators sind voneinander vollkommen entkoppelt und lassen sich über den Drehstromanteil der Drehstromwicklungen einstellen, wobei die Drehfrequenz auch 0 sein kann. Nach dem Prinzip der feldorientierten Regelung kann über die Drehfeldwicklung in dem Drehfeldmaschinenstator ein Flussvektor mit beliebigem Betrag und beliebiger Richtung erzeugt werden. Der magnetische Unipolarfluss und der Radialsteuerfluss verstärken sich dort gegenseitig wo sie in die selbe Richtung zeigen, und schwächen sich dort wo sie in die entgegengesetzte Richtung zeigen. Durch die 15 daraus resultierende zentrische Asymmetrie der magnetischen Felder wirken im Bereiche der Drehfeldstatoren magnetische, in radialer Richtung wirkende Zugkräfte auf den Rotor. Da diese Zugkräfte in 20 Betrag und Richtung frei ansteuerbar und regelbar sind, lassen sie sich als magnetische Lagerkräfte nutzen. Der Unipolarfluss wird vorzugsweise konstant gehalten, kann aber zum Beispiel zur Einstellung der Lagerparameter ebenfalls verändert werden.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird der magnetische Unipolarfluss der magnetischen
Lagervorrichtung nicht durch einen Gleichstromanteil in den Drehstromwicklungen erzeugt, sondern durch eine separate axiale Spule oder durch Permanentmagnete, welche magnetisch mit dem Drehfeldmaschinenstator verkoppelt sind. Ein Vorteil dieser Ausführungsform ist, dass für den bevorzugten Fall von dreiphasigen Drehstromwicklungen kein belastbarer Sternpunkt notwendig ist, da die Summe der drei Phasenströme immer = 0 ist; Weiter fallen die mit der Erzeugung des Unipolarflusses verbundenen

- 8 -

Kupferverluste nicht in den Drehstrommaschinenstatoren an, weshalb bei gleicher thermischer Auslegung höhere Steuerströme für die Radialsteuerflüsse und damit höhere Lagerkräfte erreichbar sind. Im Falle der permanentmagnetischen Erregung des Unipolarflusses fallen überhaupt keine Verluste an.

Eine besonders einfache Ausführungsform einer magnetischen Lagervorrichtung ist erhältlich, wenn die Drehfeldmaschinenwicklungen mit drei diskreten Spulen,

10 eine pro Phase, ausgebildet sind, wobei eine derartige Ausführungsform in der Theorie der elektrischen Maschinen als eine 3T-Ausführung bezeichnet wird. Die diskreten Spulen lassen sich ausserhalb des Stators wickeln und anschliessend als ganzes in diesen einlegen. Die genannte Konstruktion ermöglicht zudem kleine Wickelköpfe, weshalb sie bei begrenzten axialen Abmessungen von besonderem Vorteil ist.

Werden die Drehstromwicklungen der beiden Drehfeldmaschinenstatoren mit entgegengesetztem Wicklungssinn parallel oder in Serie geschaltet so zeigen die radialen magnetischen Kräfte bei beiden Statoren immer in die selbe Richtung. Mit einer derartigen Anordnung lässt sich ein Radialmagnetlager bilden. Sinn macht eine solche Anordnung vor allem in der vorgängig beschriebenen Ausführungsform von Drehfeldmaschinenstatoren mit nur drei diskreten Spulen in 3T-Anordnung. In dieser Ausführungsform ist ein Radialmagnetlager mit geringen axialen Abmessungen realisierbar. Der in axialer Richtung vorhandene Raum 30 zwischen den beiden Drehfeldmaschinenstatoren, welcher durch die Wickelköpfe bedingt ist, lässt sich zur Anordnung von Positionssensoren zum messen der Rotorposition nutzen. Der Vorteil einer solchen Anordnung liegt neben der Platzersparnis in der

- 9 -

Übereinstimmung zwischen dem Ort der Positionsmessung und dem Ort der mittleren Kraftbildung.

Indem der Durchmesser des Rotors im Bereich der Drehfeldmaschinenstatoren leicht grösser gewählt wird als im übrigen Bereich, lässt sich zusätzlich zur aktiven radialen magnetischen Lagerung eine passive axiale magnetische Lagerung erreichen, auf Grund der auftretenden Reluktanzkräfte. Weiter verstärken lässt sich dieser Effekt durch zusätzliche konzentrische Schlitze im Rotor und in den Statoren.

Die vorhin beschriebene passive axiale magnetische
Lagerung des Rotors weist nur eine geringe Steiffigkeit
und Dämpfung auf. Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung
der Erfindung ist darin zu sehen, dass für die beiden
Drehfeldmaschinenstatoren zwei getrennte, einander
entgegengesetzt gerichtete Unipolarflusskreise aufgebaut
werden, wobei die beiden Unipolarflüsse über
Flussleitelemente im Stator axial in einen mit dem Rotor
fest verbundenen und zwischen den

- 20 Drehfeldmaschinenstatoren angeordneten, Ring aus ferromagnetischem Material, im folgenden Axiallagerscheibe genannt geleitet werden, von besagter Axiallagerscheibe radial zum Rotor geführt werden und sich über diesen zu den Drehfeldmaschinenstatoren 25 schliessen Wie vorgängig beschrieben können über die
- 25 schliessen. Wie vorgängig beschrieben können über die Drehfeldmaschinenstatoren radial wirkende magnetische Lagerkräfte erzeugt werden. Über eine züsätzliche im Stator zwischen den Flussleitelementen angeordnete, konzentrisch zur Welle verlaufende Ringspule; im
- folgenden Axialringspule genannt, kann nun ein weiterer Steuerfluss, im folgenden Axialsteuerfluss genannt, erregt werden. Der besagte Axialsteuerfluss schliesst sich über einen zwischen den Flussleitelementen angeordneten, konzentrisch um die Spule angeordneten

Flussleitring, über die Flussleitelemente und axial über die Axiallagerscheibe. Die beiden Unipolarflüsse treten nun auf beiden Seiten der Axiallagerscheibe in senkrechter Richtung verlaufend in diese ein. Der Axialsteuerfluss tritt auf der einen Seite senkrecht in die Axiallagerscheibe ein und auf der anderen Seite senkrecht aus der Axiallagerscheibe aus. Auf der einen Seite der Axiallagerscheibe verstärkt somit der Axialsteuerfluss den Unipolarfluss und auf der anderen Seite schwächt der Axialsteuerfluss den Unipolarfluss. 10 Auf die Axiallagerscheibe wirkt somit eine axial gerichtete magnetische Zugkraft, welche in Richtung der höheren Flussdichte zeigt. Die besagte axial gerichtete magnetische Zugkraft lässt sich über den Strom in der 15 Axialringspule in Betrag und Vorzeichen steuern. Durch eine übergeordnete Positionsregelung wird eine aktive axiale magnetische Lagerung des Rotors möglich.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ist darin zu sehen, dass, wie vorgängig beschrieben, zwei

20 Unipolarflusskreise aufgebaut sind, die aber nicht über ein Axialmagnetlager sondern über einen geschalteten Reluktanzmotor (in Englisch bezeichnet als "permanent magnet biased swiched reluctance motor"), einen synchronen Reluktanzmotor oder einen Schrittmotor,

25 welcher zwischen den Drehfeldmaschinenstatoren angeordnet ist, zum Rotor hin verlaufen. Der Reluktanzmotor oder Schrittmotor wird dann durch den Unipolarfluss magnetisch vorgespannt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der
erfindungsgemässen Anordnung ist der Rotor im Bereiche
der beiden Statoren mit einem Gleichstrombelag
beaufschlagt, womit es möglich ist zusätzlich zu den
Lagerkräften, nach dem Prinzip des Unipolarmotors, ein
Drehmoment zu erzeugen. Eine derartige Anordnung weist

den Nachteil auf, dass der Gleichstrom über Schleifringe dem Roter zuzuführen ist. Eine derartige Anordnung ist in Bereichen anwendbar wo sowieso keine absolute Berührungsfreiheit zwischen Rotor und Stator gegeben ist,
z. B. für die Lagerung und den Antrieb von Anoden in Röntgenröhren.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, zusätzlich zur zweipoligen Drehfeldwicklung, die zur Steuerung der

- 10 Radialmagnetlagerkräfte genutzt wird, eine
  Drehstromwicklung mit einer Polpaarzahl grösser oder
  gleich drei in die Drehfeldmaschinenstatoren einzulegen.
  Durch diese Drehstromwicklung ist ein Drehfeld erzeugbar,
  welches unter bestimmten Bedingungen auch in
- Wechselwirkung mit dem Unipolarmagnetfeld und dem zweipoligen Radialsteuerfeld keine oder nur unwesentliche Radialkräfte auf den Rotor hervorruft. Wird nun der Rotor mit einer Kurzschlusswicklung der selben Polpaarzahl versehen, so lässt sich dieser über das Drehfeld nach dem
- Prinzip des Induktionsmotors antreiben. Mit einem Permanentmagnetrotor oder einem Reluktanzmaschinenrotor mit der selben Polpaarzahl ist der Rotor ebenfalls antreibbar.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von 25 Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert.

### Es zeigen:

Fig. 1 Das Grundprinzip der erfindungsgemässen magnetischen Lagervorrichung mit zwei

Drehfeldmaschinenstatoren;

Historia de la compania de la compa

- 12 -

- Fig. 1a einen Querschnitt durch einen
  Drehfeldmaschinenstator entlang der Linie (A-A)
  sowie die entsprechenden Unipolarflusslinien
  und Radialsteuerflusslinien;
- 5 Fig. 1b einen Querschnitt durch einen
  Drehfeldmaschinenstator mit einem zweipoligen
  Magnetfeld;

- Fig. 1c einen Querschnitt durch einen
  Drehfeldmaschinenstator mit einer zweipoligen,
  dreiphasig ausgeführten Drehfeldwicklung;
  - Fig. 2 eine weitere Ausführungsform der magnetischen Lagervorrichtung mit einer Axialringspule zur Erzeugung des Unipolarflusses;
- Fig. 3 eine weitere Ausführungsform der magnetischen

  Lagervorrichtung mit einem Permanentmagneten
  zur Erzeugung des Unipolarflusses;
  - Fig. 4 eine magnetische Lagervorrichtung in Kombination mit einem Unipolarmotor;
- Fig. 5 eine Ausführungsform der magnetischen

  20 Lagervorrichtung, bei welcher die dreiphasigen
  Drehstromwicklungen aus drei diskreten Spulen
  aufgebaut sind (3T-Wicklung) und bei welcher
  konstruktive Maßnahmen vorgesehen sind um
  ebenfalls eine passive magnetische
  25 Axiallagerung des Rotors zu erreichen;
  - Fig. 5a eine weitere Ausführungsform einer magnetischen Lagervorrichtung;

- Fig. 5b eine elektrische Schaltung mit dreiphasigem Drehstromsteller zur Ansteuerung der dreiphasigen Drehfeldwicklung;
- Fig. 5c eine weitere Ausführungsform einer magnetischen
  5 Lagervorrichtung mit einer 6T-Wicklung;
- Fig. 6 ein Radialmagnetlager nach dem Prinzip der magnetischen Lagervorrichtung, bei der die Drehstromwicklungen der beiden Drehfeldmaschinenstatoren mit entgegengesetztem Wicklungssinn parallel oder in Serie geschaltet sind;
  - Fig. 6a einen Schnitt durch ein Radialmagnetlager nach
    Fig. 6 mit einem zusätzlichen
    Sensorbefestigungsring mit Positionssensoren,
    wobei der Sensorbefestigungsring zwischen den
    beiden Drehstrommaschinenstatoren angeordnet
    ist;
- Fig. 6b ein elektrisches Schaltbild zur Ansteuerung der Drehfeldwicklungen der Ausführungsform gemäss
  20 Fig. 6;
  - Fig. 6c ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetischen Lagervorrichtung;

\*\*\*

- Fig. 6d ein elektrisches Schaltbild zur Ansteuerung der Drehfeldwicklungen der Ausführungsform gemäss

  Fig. 6c;
  - Fig. 6e ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetischen Lagervorrichtung;

- 14 -

- Fig. 6f ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetischen Lagervorrichtung;
- Fig. 7 eine magnetische Lagervorrichtung mit einem zusätzlich in axialer Richtung ansteuerbaren Magnetlagerung;
- Fig. 7b,7c weitere Ausführungsbeispiele einer magnetischen Lagervorrichtung mit einer zusätzlich in axialer Richtung ansteuerbaren Magnetlagerung;
- 10 Fig. 8 eine magnetische Lagervorrichtung in
  Kombination mit einem durch einen magnetischen
  Unipolarfluss vorgespannten geschalteten
  Reluktanzmotor;
- Fig. 8a ein Querschnitt durch Fig. 8 entlang der Linie 15 A-A;
  - Fig. 9 eine magnetische Lagervorrichtung mit einem Aussenrotor und einem Innenstator;
- Fig. 10 eine Regelvorrichtung zur Ansteuerung der Drehfeldwicklungen der magnetischen

  Lagervorrichtung;

an and the second of the second

- Fig. 11a,11b,11c Ausführungsbeispiele von
  Sättigungsstellen zur Begrenzung des unipolaren
  magnetischen Flusses.
- Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel der
  25 erfindungsgemässen magnetischen Lagervorrichtung für
  einen Rotor 1. Alle Teile sind rotationssymmetrisch um
  die Rotationsachse 100 angeordnet. Die beiden
  Drehfeldmaschinenstatoren 3, 4 sind einerseits über den

- 15 -

Rotor 1 aus ferromagnetischem Material und andererseits über einen Flussleitring 16 aus ferromagnetischem Material oder das Gehäuse 18 aus ferromagnetischem Material magnetisch gekoppelt. Durch einen Gleichstromanteil in der Drehstromwicklung 5 und/oder in der Drehstromwicklung 6 wird ein magnetischer Unipolarfluss erregt. Dieser ist durch die beiden Unipolarflusslinien 8 und 9 angedeutet. Der Unipolarfluss zeigt im Luftspalt des Drehfeldmaschinenstators 3 rotationssymmetrisch nach innen und im Luftspalt des Drehfeldmaschinenstators 4 rotationssymmetrisch nach aussen. Dieser Sachverhalt wird in Figur 1a nochmals verdeutlicht.

Figur la zeigt einen Schnitt entlang der Linie A-A gemäss Fig. 1 senkrecht zum Rotor 1 verlaufend durch den 15 Drehfeldmaschinenstator 3 sowie durch den Rotor 1. Die sich im Drehfelmaschinenstator 3 befindlichen elektrischen Leiter der Drehstromwicklung 5 sind nicht dargestellt. Neben den Unipolarflusslinien 8 und 9 sind weitere Unipolarflusslinien 20, 21, 22, 23, 24, 25 20 dargestellt die alle vom Drehfeldmaschinenstator 3 nach innen zum Rotor 1 zeigen. Zusätzlich zum magnetischen Unipolarfluss können über die zweipoligen Drehstromwicklungen 5 und 6 sinusförmig verteilte 25 zweipolige magnetische Radialsteuerflüsse, auch Steuerflüsse genannt, erzeugt werden. Abgesehen von der magnetischen Sättigung können diese einen beliebigen Betrag und eine beliebige Richtung einnehmen. Sie sind in Figur 1 durch die Steuerflusslinien 10 und 11 30 dargestellt. Figur la zeigt wiederum mehrere Steuerflusslinien 10, 19, 26, 27, 28, 29. Sie schliessen sich radial über den Drehfeldmaschinenstator 3 und den Rotor 1. In Figur la wird auch die Wirkungsweise der magnetischen Lagerkrafterzeugung deutkich. Der magnetische Unipolarfluss und der Steuerfluss verstärken 35

- 16 -

sich dort gegenseitig, wo die beiden Flüsse in die selbe Richtung zeigen, in Figur la oben, und schwächen sich dort, wo die beiden Flüsse in die entgegengesetzte Richtung zeigen, in Figur 1a unten. Im Bereich des Drehfeldmaschinenstators 3 wirkt somit eine magnetische Zugkraft auf den Rotor 1, welche nach oben gerichtet ist. Die magnetische Zugkraft im Bereich des Drehfeldmaschinenstators 4 wirkt ebenfalls nach oben, da hier sowohl die Richtung des Unipolarflusses als auch des Steuerflusses umgekehrt sind. Für jeden 10 Drehfeldmaschinenstator getrennt lässt sich nun die im Bereich des Drehfeldmaschinenstators insbesondere in radialer Richtung auf dem Rotor wirkende magnetische Zugkraft allein über den Steuerfluss in Betrag und Richtung beliebig einstellen. Am Unipol, bei welchem der Unioplarfluss den Rotor verlässt, in Figur 1 beim Drehfeldmaschinenstator 4, zeigt die Richtung der magnetischen Zugkraft immer in die Richtung des Steuerflusses und ihr Betrag ist proportional zum Betrag 20 des Steuerflusses. Am Unipol, bei welchem der Unioplarfluss zum Rotor hin zeigt, in Figur 1 beim Drehfeldmaschinenstator 3, zeigt die Richtung der magnetischen Zugkraft immer in die entgegengesetzte Richtung des Steuerflusses und ihr Betrag ist 25 proportional zum Betrag des Steuerflusses. Die radiale Position des Rotors 1 wird über die Positionssensoren 12 und 13 beziehungsweise 14 und 15 erfasst. Eine in Figur 10 dargestellte Ansteuer- und Regelvorrichtung speist aufgrund dieser Messsignale die Phasenströme der 30 Drehstromwicklungen 3, 4 derart, dass der Rotor 1 in der

Fig. 1b dient zur Begriffsklärung und zeigt einen Schnitt durch einen Stator 3 mit einer in axialer Richtung verlaufenden Wicklung Lu, die von einem Strom durchflossen ist und dabei das zweipolige, in radialer

Schwebe gehalten wird.

- 17 -

Richtung verlaufende magnetische Feld 10 erzeugt. Fig. 1c zeigt einen weiteren Schnitt durch den Stator 3 mit drei in axialer Richtung verlaufenden Wicklungen Lu, Lv, Lw, die separat ansteuerbar sind, und die derart ausgestaltet 5 sind, dass ein zweipoliges magnetisches Feld 10 erzeugt wird. Mit diesen drei Wicklungen Lu, Lv, Lw ist bei einer entsprechenden Ansteuerung ein um die Achse 100 in Richtung w drehendes magnetisches Feld 10 erzeugbar, was als ein Drehfeld bezeichnet wird. Die Drehfrequenz kann auch 0 sein, sodass durch eine entsprechende Ansteuerung der Wicklungen Lu, Lv, Lw ein in einer vorgebbaren radialen Richtung verlaufendes magnetisches Feld 10 erzeugbar ist. Eine Wicklung mit welcher die Richtung des magnetischen, zweipoligen Feldes 10 vorgebbar ist, wie z.B. in Fig. 1c 15 dargestellt, wird als eine zweipolige Drehfeldwicklung bezeichnet. In einer vorteilhaften Ausführungsform die diese zweipolige Drehfeldwicklung, wie in Fig. 1c. dargestellt, als eine dreiphasige Wicklung mit drei Phasen Lu, Lv, Lw ausgebildet. Die Statoren 3,4 gemäss Fig. 1 könnten eine derartige dreiphasig ausgebildete, zweipolige Drehfeldwicklung 5,6 aufweisen.

Zwei Ausführungsformen der erfindungsgemässen magnetischen Lagerung, bei welchen der Unipolarfluss nicht durch einen Gleichstromanteil in den.

25 Drehstromwicklungen 3 und 4 sondern durch ein anderes erstes Mittel erregt wird, sind in Figur 2 und 3 dargestellt. In Figur 2 ist das erste Mittel zum erregen des Unipolarflusses eine Axialringspule 99, welche zwischen den beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 und 30 zwischen den Flussleitringen 16 und 17 angeordnet ist und konzentrisch zum Rotor 1 verläuft. In Figur 3 ist das erste Mittel zum erregen des Unipolarflusses ein axial magnetisierter Permanentmagnetring 7, welcher zwischen den beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 und zwischen den Flussleitringen 16 und 17 angeordnet ist. In diesem

Fall muss, wie oben dargestellt, der gesamte
Unipolarfluss über den Permanentmagnetring 7 und über die
Flussleitringe 16 und 17 geführt werden. Ein Gehäuse aus
ferromagnetischen Material kann hier nicht eingesetzt
werden. Der Permanentmagnetring 7 kann auch, wie unten
mit dem Permanentmagnetring 7b dargestellt, nur einen
Teil der Gehäusebreite beanspruchen, sodass ein Teil des
Unipolarflusses 9a über das Gehäuse 16,17 verläuft.

Wird in der erfindungsgemässen magnetischen Lagervorrichtung der Rotor 1 im Bereiche der beiden 10 Statoren 3,4 mit einem Gleichstrombelag beaufschlagt, so ist es möglich, zusätzlich zu den Lagerkräften, nach dem Prinzip eines Unipolarmotors, ein Drehmoment zu erzeugen. Ein so gestalteter "lagerloser Unipolarmotor" ist in Figur 4 dargestellt. Der Gleichstrom wird über die 15 Schleifer 70 und 71 und über die Schleifringe 74 und 75 dem Rotorbereich unter dem linken magnetischen Unipol, im Bereich des Drehfeldmaschinenstators 3, zugeführt, beziehungsweise über die Schleifer 72 und 73 und über die Schleifringe 76 und 77 dem Rotorbereich unter dem rechten 20 magnetischen Unipol im Bereich des Drehfeldmaschinenstators 4 zugeführt. Der Strom wird auf dem Rotor über eine elektrisch leitende Schicht oder hier über Rotorstäbe 78, 79 vom Schleifring 74 zum Schleifring 75 beziehungsweise vom Schleifring 76 zum Schleifring 77 25 geleitet und bildet auf den Rotorbereichen unter den magnetischen Unipolen einen homogenen Strombelag.

Figur 5 zeigt eine besonders einfache und platzsparende Ausführungsform der erfindungsgemässen magnetischen

30 Lagervorrichtung. Die dreiphasig ausgestalteten Drehfeldmaschinenwicklungen 5 und 6 werden hier mit nur drei diskreten Spulen 30, 31 und 32 beziehungsweise 33, 34 und 35 gebildet. Eine solche Ausführungsform wird in der Theorie der elektrischen Maschinen eine 3T-Wicklung

- 19 -

genannt. Der magnetische Unipolarfluss wird durch die axial magnetisierten Permanentmagnete 56 und 57 erregt und durch die Flussleitteile 52, 53 und 54, 55 vom Drehfeldmaschinenstator 4 zum Drehfeldmaschinenstator 3 5 geführt. Natürlich ist es auch möglich, hierfür einen Permanentmagnetring und ringförmige Elussleitteile zu verwenden. Im Drehfeldmaschinenstator 3 wird der Unipolarfluss über die drei Statorzähne 62, 63, 64 radial zum Rotor geführt und von diesem weiter zum 10 Drehfeldmaschinenstator 4 geleitet wo er den Rotor wiederum radial durch die Statorzähne 65, 66, 67 verlässt. In Figur 5 wird der Unipolarflussverlauf im Drehfeldmaschinenstator 3 durch die Unipolarflusslinien 40, 41, 42 und im Drehfeldmaschinenstator 4 durch die 15 Unipolarflusslinien 43, 44, 45 dargestellt. Der Steuerfluss im Drehfeldmaschinenstator 3 wird durch die drei diskreten Spulen 30, 31 und 32 erregt und wird durch die Steuerflusslinien 46, 47, und 48 dargestellt. Der Steuerfluss im Drehfeldmaschinenstator 4 wird durch die 20 drei diskreten Spulen 33, 34 und 35 erregt und wird durch die Steuerflusslinien 49, 50, und 51 dargestellt. Sowohl im Drehfeldmaschinenstator 3 als auch im Drehfeldmaschinenstator 4 zeigen Unipolarfluss und Steuerfluss in der b-Achse in die selbe Richtung und in 25 der a- und c- Achse in die entgegengesetzte Richtung. An beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 wirkt somit eine resultierende magnetische Zugkraft in b-Richtung. Im Drehfeldmaschinenstator 3 zeigt die resultierende magnetische Zugkraft also in entgegengesetzter Richtung 30 zum Steuerflussvektor, da hier der Unipolarfluss nach innen zeigt. Im Drehfeldmaschinenstator 4 zeigt die resultierende magnetische Zugkraft in die selbe Richtung wie der Steuerflussvektor, da hier der Unipolarfluss nach aussen zeigt.

35 Im Bereich 36 und 37 der Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 wurde der Rotordurchmesser leicht grösser gewählt als im übrigen Bereich. Dadurch wird zusätzlich zur aktiven radialen magnetischen Lagerung eine passive axiale magnetische Lagerung auf Grund der Reluktanzkräfte erreicht.

Werden die Drehstromwicklungen der beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 mit entgegengesetztem Wicklungssinn parallel oder in Serie geschaltet so zeigen die radialen magnetischen Kräfte unter beiden Statoren 3.4 immer in die selbe Richtung. Bine solche Anordnung 10 ist in Figur 6 dargestellt. Sie zeigt eine Anordnung mit Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 mit drei diskreten Spulen 30, 31, 32 und 33, 34, 35 in 3T-Anordnung. Die Spule 33 ist dabei aus zeichnerischen Gründen in der Figur 6 nicht sichtbar. Zur Erregung des magnetischen 15 Unipolarflusses wird ein axial magnetisierter Permanentmagnetring 7 eingesetzt. Dieser kann natürlich auch aus einer Mehrzahl von permanentmagnetischen Ringsegmenten ausgebildet sein. Zusätzliche Flussleitringe sind in der beschriebenen Ausführungsform 20 nicht notwendig, können aber zur besseren Ausnutzung des Magnetmaterials ebenfalls eingesetzt werden. Der Rotor 1 weist im Bereich 36 und 37 einen leicht grösseren Rotordurchmesser auf als im übrigen Bereich. Dadurch wird wie vorhin beschrieben zusätzlich zur aktiven radialen magnetischen Lagerung eine passive axiale magnetische Lagerung erreicht. Der Raum zwischen den beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 , der durch die Wickelköpfe bedingt ist, kann zur Montage von Positionssensoren 12,13 zum messen der Rotorposition genutzt werden. Gemessen 30 wird der Abstand von ständerfesten Sensoren 12,13 zum Sensormessring 60 auf dem Rotor 1, welcher Ring 6c zwischen den beiden Lagerbereichen 36 und 37 liegt. Ein Vorteil der Anordnung gemäss Fig. 6 liegt neben der Platzersparnis in der örtlichen Übereinstimmung zwischen

der Positionsmessung und der mittleren Kraftbildung. Die

- 21 -

Sensoren 12, 13 selbst sind in Figur 6 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Figur 6a zeigt einen Schnitt durch die Anordnung in Figur 6 mit den Positionssensoren 12, 13 und 98. Die Positionssensoren 5 13, zum Beispiel Wirbelstromsensoren, sind in einem Sensorbefestigungsring 61 montiert welcher seinerseits zwischen den Statorzähnen befestigt ist. In einer vorteilhaften Ausführungsform des Rotors 1 ist dieser derart ausgestaltet, dass der mit Ausnahme des 10 Sensormessrings 60 ferromagnetisch ausgestaltete Rotor 1 im Bereich der Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 liegende Teile 36,37 aufweist, welche einen grösseren Durchmesser aufweisen als der übrige Teil des Rotors 1, um die bei einer axialen Auslenkung des Rotors 1 in axialer Richtung 15 wirkenden Reluktanzkräfte zu erhöhen und damit eine passive Magnetlagerung des Rotors 1 in axialer Richtung zu bewirken.

Fig. 5a zeigt in einer Seitenansicht ein Ausführungsbeispiel einer radialen, aktiven magnetischen 20 Lagervorrichtung. Der als Welle ausgestaltete Rotor 1 wird durch drei diskret ausgestaltete, in Umfangsrichtung um je 120° versetzt angeordnete Elektromagnete 2u, 2v, 2w berührungslos in der Schwebe gehalten. Jeder Elektromagnet 2u, 2v, 2w weist eine Spule Lu, Lv, Lw auf zur 25 Erzeugung eines zeitlich variablen, magnetischen Flusses φ1, φ2, φ3. Jede Spule Lu, Lv, Lw ist über elektrische Verbindungsleitungen 3u, 3v, 3w mit einem nicht dargestellten Drehstromsteller 110 verbunden. Das magnetische Lager erfordert eine Vormagnetisierung, welche im vorliegenden Ausführungsbeispiel durch drei mit einem Gleichstrom durchflossene Spulen 4u, 4v, 4w erzeugt wird. An jedem Spulenkern 2u, 2v, 2w ist eine gleichsinnig gewickelte Spule 4u, 4v, 4w angeordnet. Die Spulen 4u, 4v, 4w sind über einen elektrischen Leiter 5a in einer Serieschaltung miteinander verbunden und sind

daher von einem gemeinsamen Gleichstrom io durchflossen.
Weiter ist die horizontale X-Richtung und die vertikale
Y-Richtung des Lagers dargestellt, sowie die auf die
Welle 1 wirkenden Kräfte Fx und Fy. Die einzelnen
5 Elektromagnete 2u, 2v, 2w sind mit einer Verlaufsrichtung
u,v,w, um je 120° in Umfangsrichtung der Welle 1 versetzt
angeordnet.

Fig. 5b zeigt die elektrische Verbindung eines dreiphasigen Drehstromstellers 110 mit den Spulen Lu, Lv, Lw des radialen, aktiven, magnetischen Lagers gemäss Fig. 5a. Der Drehstromsteller 110 wird mit einer Zwischenkreisspannung Uz betrieben und weist einen Kondensator Cz auf. Der Drehstromsteller 110 umfasst ein Leistungsteil 110a sowie eine nicht dargestellte 15 Signalverarbeitungsvorrichtung 110b, welche einen Mikrocontroller umfasst. Die drei Spulen Lu, Lv, Lw sind in einer Sternschaltung miteinander verbunden, wobei die drei Phasenströme iu, iv, iw über die elektrischen Leiter 3u, 3v, 3w vom Leitungsteil 110a des Drehstromstellers 20 110 den Spulen Lu, Lv, Lw zugeführt sind. Der Leistungsteil 110a weist drei Brückenzweige auf, welche mit je einem elektrischen Leiter 3u, 3v, 3w verbunden sind. Im dargestellten Ausführungsbeispiel sind die drei eine Vormagnetisierung bewirkenden Spulen 4u, 4v, 4w über 25 den elektrischen Leiter 5a in einer Serieschaltung an die Zwischenkreisspannung Uz angelegt, sodass alle Spulen 4u, 4v, 4w von einem gemeinsamen Strom io durchflossen sind.

Der Zusammenhang zwischen den auf den Rotor 1 wirkenden Kräften Fx und Fy und den an den Spulen Lu, Lv, Lw 30 anliegenden Strömen iu, iv, iw gestaltet sich wie folgt:

The foreign where some or a second region is a second

k bedeutet in den folgenden Gleichungen eine Proportionalitätskonstante:

- 23 -

Für die Kraft Fx gilt:

 $F_x = 2(i_u + i_o)k \cos(30^\circ) - (i_v + i_o)k \cos(30^\circ) - (i_v + i_o)k \cos(30^\circ)$ 

5 zusammengefasst:

WO 97/07340

$$F_{x} = k \sqrt{3} (i_{u} - ½ i_{v} - ½ i_{w})$$
 (I)

Für die Kraft Fy gilt:

 $F_y = (i_v + i_o)k + (i_v + i_o)k \sin(30^\circ) + (iu + io)k \sin(30^\circ)$ - (ic + io)k - (ic + io)k  $\sin(30^\circ)$  - (ia + io)k  $\sin(30^\circ)$ 

10 zusammengefasst:

$$F_{y} = k \sqrt{3} (\sqrt{3}/2 i_{v} - \sqrt{3}/2 i_{w})$$
 (II)

Für einen dreiphasigen Drehstromsteller 10 gilt immer die Nebenbedingung, dass die Summe aller Ströme gleich Null ist. Daher gilt die zusätzliche Bedingung:

$$15 \quad i_u + i_v + i_w = 0 \tag{III}$$

Somit ergibt sich bei der Verwendung eines dreiphasigen Drehstromstellers (Gleichung III) zur Ansteuerung eines aktiven, magnetischen Lagers der folgende Zusammenhang zwischen den Strömen iu, iv, iw der einzelnen Spulen Lu,

20 Lv, Lw und der auf die Welle 1 wirkenden Kraft Fx, Fy:

$$\begin{bmatrix} i_u \\ i_v \\ i_w \end{bmatrix} = \frac{2}{3\sqrt{3}k} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \sqrt{3}/2 \\ -\frac{1}{2} & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix}$$
(IV)

Aus der Gleichung IV ist ersichtlich, dass bei der

Verwendung eines konventionellen, dreiphasigen

Drehstromstellers die auf die Welle 1 wirkende Kraft Fx

und Fy steuerbar ist. Die beiden Kraftkomponenten Fx, Fy

stehen orthogonal zueinander, sodass mit diesen beiden

Komponenten Fx. Fy eine in beliebiger, radialer Richtung auf die Welle 1 wirkende Kraft erzeugbar ist. Somit wird im magnetischen Lager durch die Überlagerung einer Gleichstromdurchflutung mit einer Drehstromdurchflutung eine Gesamtdurchflutung erzeugt, welche erlaubt eine in beliebiger, radialer Richtung wirkende Kraft zu erzeugen. Dabei ist immer die Nebenbedingung erfüllt, dass die Summe der Ströme iu, iv, iw gleich Null ist, sodass ein dreiphasiger Drehstomsteller verwendbar ist.

Der Vormagnetisierungsstrom io kürzt sich heraus aus den Gleichungen I bis IV und ist daher bei der Regelung der Ströme iu, iv, iw nicht weiter zu berücksichtigen. Der Vormagnetisierungsstrom io geht nur in den Faktor k ein. Der Vormagnetisierungsstrom io wird vorteilhafterweise derart gewählt, dass dieser Strom io etwa die Hälfte der Sättigungsflussdichte der Spulenkerne 2u, 2v, 2w erzeugt.

Fig. 10 zeigt einen dreiphasigen Drehstromsteller 110, welcher ein dreiphasiges Leistungsteil 110a umfasst, sowie weitere einen Regelkreis bildende elektronische Komponenten 110b. Der Drehstromsteller 110 umfasst insbesondere einen programmierbaren Mikroprozessor, welcher die jeweils erforderliche Regelung durch eine entsprechende Software zu programmieren erlaubt.

Das in Fig. 10 dargestellte Ausführungsbeispiel eines
Drehstromstellers 110 weist eine Reglerstruktur zur
Ansteuerung der in der Figur 5a dargestellten, aktiven
magnetischen Lagervorrichtung auf. Von untergeordneter
Bedeutung und daher nicht dargestellt ist der
Vormagnetisierungsstrom io. Die drei Spulen Lu, Lv, Lw
des Drehfeldmaschinenstators 4 werden vom Leistungsteil
110a mit den Strömen iu, iv, iw versorg. Zwei am
Drehfeldmaschinenstator 4 angeordnete Lagesensoren 12, 13
erfassen die jeweilige Lage des Rotor 1 in X- und Y-

- 25 -

Richtung und erzeugen ein entsprechendes Lagesignal Xist, Yist, welches einer Vergleichsvorrichtung zugeführt wird. Diese Vergleichsvorrichtung ermittelt die Abweichtung zwischen einem vorgegebenen Sollwert Xsoll, Ysoll und dem gemessenen Istwert Xist, Yist, und führt das Differenzsignal einem als PID-Regler ausgestalteten Lageregler 140a, 140b zu. Die beiden Lageregler 140a, 140b berechnen die in X- und Y-Richtung erforderliche Kraftkomponente Fsollx, Fsolly, die auf den Rotor 1 zu bewirken ist, um den Istwert Xist, Yist mit dem vorgegebenen Sollwert Xsoll, Ysoll in Übereinstimmung zu bringen. Die Kraftkomponenten Fsollx, Fsolly werden einer 2/3-Phasen-Transformationsvorrichtung 130 zugeführt, welche, unter Verwendung der Gleichung IV, die 15 erforderlichen Stromsollwerte isollu, isollv berechnet. Dem Leistungsteil 110a sind nur zwei Stromsollwerte vorzugeben, da der dritte Stromwert durch die Bedingung, dass die Summe aller Ströme gleich Null ist, bereits bestimmt ist. Stromsensoren 160a, 160b überwachen die 20 aktuellen Stromwerte iistu, iistv, welche mit den Sollwerten isollu, isollv verglichen werden und die Differenzwerte den als PI-Reglern ausgebildeten Stromreglern 120a, 120b zugeführt werden; welche daraufhin über Stromsteller die Strome iu, iv bewirken. Somit ist ein aktives, magnetisches Lager auf einfache und kostengünstige Weise mit einem dreiphasigen Drehstromsteller 110 betreibbar.

Die drei Spulen Lu, Lv, Lw der magnetischen
Lagervorrichtung gemäss Fig. 5a sind in Fig. 5b in einer
Sternschaltung miteinander verbunden. Die drei Spulen
Lu, Lv, Lw können auch in einer Dreieckschaltung
miteinander verbunden sein. Die Ansteuervorrichtung 110
ist nur als ein Ausführungsbeispiel zu betrachten. Die
einzelnen Spulen Lu, Lv, Lw sind auch jeweils von einem
separaten Stromsteller ansteuerbar, sodass für eine

Millian in ann a fhair an an Eileann agus is e

- 26 -

Anordnung gemäss Fig. 5b drei Stromsteller erforderlich sind zur Ansteuerung der Spulen Lu, Lv, Lw, sowie eine übergeordnete, nicht dargestellte Regelvorrichtung.

Fig. 6b zeigt die elektrische Verbindung eines

dreiphasigen Drehstromstellers 110 mit den Spulen
30,31,32,34,35,36 der radialen, aktiven magnetischen
Lagervorrichtung gemäss Fig. 6. Die Spulen jeder Phase
a,b,c sind in Serie geschaltet, wobei jeweils zwei in
Serie geschaltete Spulen 32,35 gegengleich gewickelt
sind, sodass zum Beispiel die eine Spule 32 einen zum
Rotor 1 hin gerichteten magnetischen Fluss erzeugt und
die Spule 35 einen vom Rotor 1 wegführenden magnetischen
Fluss erzeugt.

Die magnetische Lagervorrichtung gemäss Fig. 6c weist, im 15 Gegensatz zur Ausführung gemäss Fig. 6, für jede Phase a,b,c diametral gegenüberliegende Spulen La1, La2; La3, La4; Lb1, Lb2; Lb3, Lb4; Lc1, Lc2; Lc3, Lc4 und Zähne auf, sodass zum Beispiel die Spulen Lc1, Lc2, Lc3, Lc4 eine Phase c bilden. Diese Anordnung der Spulen und Zähne 20 führt, im Vergleich zur Ausführung gemäss Fig. 6, zu einem besseren, lineareren magnetischen Feldverlauf innerhalb des Luftspaltes. Insbesondere eine Auslenkung des Rotors 1 in radialer Richtung aus der Zentrumslage führt in der Ausführung gemäss Fig. 6 zu einem 25 asymmetrischen Verlauf des magnetischen Feldes. Dieser Effekt tritt im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6c in reduziertem Masse auf. Fig. 6d zeigt die elektrische Verbindung eines dreiphasigen Drehstromstellers 110 mit den Spulen des Ausführungsbeispieles gemäss Fig. 6c. Die 30 Spulen einer Phase a,b,c sind jeweils in Serie geschaltet, so sind zum Beispiel die Spulen La1, La2, La3, La4 der Phase a in Serie geschalten. Durch die dreiphäsige Ansteuerung der Spulen mit einem Drehstromsteller 110 sind die einzelnen Phasen a,b,c

nicht mehr unabhängig voneinander ansteuerbar, denn es gilt immer die Nebenbedingung, dass die Summe der Ströme ia,ib,ic am Sternpunkt P gleich Null ist. Dadurch, dass eine Auslenkung des Rotors 1 beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6c eine geringere Auswirkung auf einen asymmetrischen Verlauf des magnetischen Feldes ausübt als im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6, ist das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6c präzieser ansteuerbar mit einem Drehstromsteller 110. Alle in der vorliegenden Offenbahrung dargestellten magnetischen Lagervorrichtungen lassen sich auch mit einer Mehrzahl individueller Stromsteller ansteuern, sodass auch das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 6c mit drei oder sechs separaten Stromstellern betreibbar ist.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 5c ist ähnlich ausgestaltet wie das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 5, wobei jeder Drehfeldmaschinenstator 3,4 sechs in Umfangsrichtung verteilt angeordnete Zähne mit entsprechend seches Spulen Lal, La2, Lb1, Lb2, Lc1, Lc2 aufweist, wobei bezüglich der Rotationsachse gegenüberliegende Spulen La1, La2 jeweils von der gleichen Phase a,b,c gespiesen sind. Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 5c ist jeder Drehfeldmaschinenstator 3,4 von einem separaten Drehstromsteller 110 angesteuert, sodass die Lage des Rotors 1 an beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 in radialer Richtung ansteuerbar und regelbar ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel einer magnetischen Lagervorrichtung mit zwei Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 mit jeweils drei in Umfangsrichtung verteilt angeordneten Zähnen und diskreten Spulen 30,31,32,33,34,35 ist in Fig. 6e dargestellt. Die Spulen 30,31,32, 33,34,35 jeder Phase al,bl,cl;a2,b2,c2 sind bei jedem Drehfeldmaschinenstator 3,4 in Umfangsrichtung um jeweils 120° versetzt angeordnet, wobei die Spulen 30,31,32; 33,34,35 der

beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 zudem in Umfangsrichtung um jeweils 60° gegeneinander versetzt angeordnet sind. Diese Anordnung bewirkt, im Vergleich zur Ausführung gemäss Fig. 6, eine homogenere Verteilung des magnetischen Feldes im Raum zwischen dem Stator 3,4 und dem Rotor 1, insbesondere bei einer Auslenkung des Rotors 1 in radialer Richtung aus der Mittenlage.

Fig. 6f zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines Drehfeldmaschinenstators 4 der, ansonst gleich aufgebaut wie das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 5a, sechs in Umfangsrichtnung des Drehfeldmaschinenstators 4 verteilt angeordnete Zähne mit Spulen Lul, Lu2, Lv1, Lv2, Lw1, Lw2 aufweist, wobei bezüglich dem Drehzentrum 100 gegenüberliegend angeordnete Spulen

Lul, Lu2; Lv1, Lv2; Iw1, Lw2 eine Phase ausbilden und elektrisch in Serie geschaltet sind. Zudem weist jeder Zahn eine gleichsinnig gewickelte Spule 4u1, 4u2, 4v1, 4v2, 4w1, 4w2 auf zur Erzeugung des Unipolarflusses, wobei diese Spulen über einen elektrischen Leiter 5a in Serie geschaltet mit einer Gleichspannungsquelle Uo verbunden sind.

. .

Figur 7 zeigt eine Anordnung zur aktiven magnetischen Lagerung eines Rotors 1 nach dem erfindungsgemässen Prinzip mit einer zusätzlichen aktiven axialen

25 magnetischen Lagerung. Hierfür werden für die beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 zwei getrennte, einander entgegengerichtete Unipolarflusskreise, dargestellt durch die Unipolarflusslinien 90 und 91 beziehungsweise 92 und 93 aufgebaut. Die beiden

30 Unipolarflüsse werden über zwei getrennt axial magnetisierte Permanentmagnetringe 80 und 81 mit entgegengesetzter Magnetisierungsrichtung erregt. Über die Flussleitelemente 84 und 85 im Stator 2 werden die beiden einander entgegengesetzten Unipolarflüsse 90,91

und 92,93 axial in eine mit dem Rotor 1 fest verbundene
Axiallagerscheibe 86 geleitet und von dieser radial zum
Rotor 1 geführt. Über den Rotor 1 schliessen sich die
Unipolarflüsse weiter zu den Drehfeldmaschinenstatoren 3
und 4 und über allfällige Flussleitringe 82, 83 zu den
Permanentmagnetringen 80,81. Erfindungsgemäss, wie
vogängig beschrieben, werden über die
Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 mit Hilfe der
Drehstromwicklungen 5 und 6 radiale magnetische
Lagerkräfte durch Überlagerung der Unipolarflüsse mit
Radialsteuerflüssen 10, 11 erzeugt. Über eine zusätzliche

- Radialsteuerflüssen 10, 11 erzeugt. Über eine zusätzliche Axialringspule 87, welche konzentrisch zum Rotor 1 verlaufend angeordnet ist, wird ein weiterer Steuerfluss, ein sogenannter Axialsteuerfluss, dargestellt durch die
- 15 Flusslinien 88 und 89, erregt. Der Axialsteuerfluss schliesst sich über den Flussleitring 97, über die Flussleitelemente 84 und 85 und axial über die Axiallagerscheibe 86. Die beiden Unipolarflüsse 90,92 treten auf beiden Seiten senkrecht in die
- Axiallagerscheibe 86 ein. Der Axialsteuerfluss tritt auf der linken Seite senkrecht in die Axiallagerscheibe 86 ein und auf der rechten Seite wieder senkrecht aus der Axiallagerscheibe 86 aus. Auf der linken Seite der Axiallagerscheibe 76 verstärkt somit der
- 25 Axialsteuerfluss, dargestellt durch die Flusslinien 88 und 89, den Unipolarfluss, dargestellt durch die Unipolarflusslinien 90 und 91. Auf der rechten Seite schwächt der Axialsteuerfluss, dargestellt durch die Flusslinien 88 und 89, den Unipolarfluss, dargestellt
- durch die Unipolarflusslinien 92 und 93. Auf die Axiallagerscheibe 86 wirkt eine axial gerichtete magnetische Zugkraft in Richtung der höheren Flussdichte, das heisst in Figur 7 nach links. Sie lässt sich über den Strom in der Axialringspule 87 bezüglich Betrag und

35 Vorzeichen steuern. Durch eine übergeordnete

Positionsregelung wird eine aktive axiale magnetische Lagerung des Rotors 1 möglich.

Fig. 7b zeigt in einer Schnittzeichnung eine weitere Anordnung zur aktiven magnetischen Lagerung eines Rotors 1 mit einer zusätzlichen aktiven axialen magnetischen Lagerung. Zwei in axialer Richtung beabstandete Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 sind über ein ferromagnetisches Gehäuse 18 miteinander verbunden und bilden einen Stator 2. Zwischen den

- 10 Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 ist ein in radialer
  Richtung magnetisierter Permanentmagnet 81a angeordnet,
  welcher über ein ringformiges, ferromagnetisches
  Flussleitteil 2a mit dem Gehäuse 18 verbunden ist. Weiter
  ist der Permanentmagent 81a gegen den Rotor 1 hin mit
  einem zylinderförmigen, in axialer Richtung verlaufenden
- ferromagnetischen Flussleitteil 2b verbunden. Das
  Flussleitteil 2b kann auch aus geblechtem Material
  gefertigt sein. Der Rotor 1 besteht aus einer nicht
  ferromagnetischen Welle 1b, mit welcher beidseitig ein
- ferromagnetisches, zylinderförmiges Teil la fest verbunden ist. Der Permanentmagnet 81a erzeugt zwei getrennte Unipolarflusskreise, dargestellt durch die vier Unipolarflusslinien 90,91,92,93, wobei ein Flusskreis jeweils ausgehend vom Permanentmagnet 81a in axialer
- 25 Richtung über das zylinderförmige Flussleitteil 2b und einem Luftspalt zum Rotorteil 1a verläuft, danach in radialer Richtung über den Luftspalt in den Drehfeldmaschinenstator 3,4 verläuft, und weiter über das Gehäuse 18 und das Flussleitteil 2a zurück zum
- Permanentmagnet 18a. Der Steuerfluss 88,89 wird von einem Gleichstromanteil in den Spulen der Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 bewirkt, wobei sich im dargestellten Ausführungsbeispiel durch die Überlagerung des Steuerflusses 88,89 mit dem Unipolarfluss 90,91,92,93
- 35 zwischen Drehfeldmaschinenstator 3 und Flussleitteil 2b

- 31 -

eine Abschwächung und zwischen dem
Drehfeldmaschinenstator 4 und dem Flussleitteil 2b eine
Verstärkung des axial ausgerichteten Magnetfeldes ergibt,
was eine in axialer Richtung nach rechts wirkende Kraft
auf den Rotor 1 erzeugt. Somit ist die Lage der Rotor 1
axialer in beiden Richtung mit einer entsprechend
ausgebildeten Ansteuervorrichtung mit Sensor beliebig
ansteuerbar. Beim Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 7b sind
alle fünf Freiheitsgrade des Rotors 1 ansteuerbar,
nämlich die x- und y-Richtung bei jedem
Drehfeldmaschienenstator 3,4, sowie die z-Richtung des
Rotors 1.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 7c unterscheidet sich vom Beispiel gemäss Fig. 7b insofern, als der Steuerfluss 88,89 nicht durch die Spulen der Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 bewirkt wird, sondern durch eine das zylinderförmige Flussleitteil 2b umgebende Axialspule 99a, 99b. Durch diese Axialspule 99a,99b wird der im Flussleitteil 2b in axialer Richtung verlaufende Steuerfluss 88,89 erzeugt. Dadurch können die Spulen der Drehfeldmaschinenstatoren 3,4, ohne einen überlagerten Gleichstromanteil betrieben werden, sodass diese Spulen mit einem dreiphasigen Drehstromsteller ansteuerbar sind. Die Lage des Rotors 1 in axialer Richtung ist über die Axialspulen 99a,99b ansteuerbar.

BAAN LIE BY W. LEENING TO STORE THE

Figur 8 zeigt die erfindungsgemässe magnetische
Lagervorrichtung in Kombination mit einem durch den
Unipolarfluss magnetisch vorgespannten, geschalteten
Reluktanzmotor (in Englisch bezeichnet als "permanent
magnet biased swiched reluctance motor"), wobei dieser
Motor auch als ein synchroner Reluktanzmotor oder ein
Schrittmotor betrachtet werden kann. Hierfür werden
ebenfalls für die beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3 und
4 zwei getrennte, einander entgegengerichtete

Unipolarflusskreise, dargestellt durch die Unipolarflusslinien 90 und 91 beziehungsweise 92 und 93 aufgebaut. Im Unterschied zu Figur 7 werden die beiden Unipolarflusskreise über einen zwischen den beiden Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 und den axial magnetisierten Permanentmagnetringen 80 und 81 angeordneten Reluktanzmotorstator 101 in radialer Richtung verlaufend zum Rotorbereich des Reluktanzmotors 103 geführt. Durch den Unipolarfluss wird der Reluktanzmotor magnetisch vorgespannt. Erfindungsgemäss, 10 wie vorgängig beschrieben, werden über die Drehfeldmaschinenstatoren 3 und 4 mit Hilfe der Drehstromwicklungen 5 und 6 radiale magnetische Lagerkräfte durch Überlagerung der Unipolarflüsse mit Radialsteuerflüssen 10, 11 erzeugt. 15

Fig. 8a zeigt einen Querschnitt entlang der Linie A-A durch einen Reluktanzmotor gemäss Fig. 8 mit 4-poligem Rotor. Im Stator 101 sind senkrecht zur Betrachtungsebene verlaufende Leiter 102 a angeordnet, welche zusammen die Wicklung 102 des Reluktanzmotors bilden. Der Rotorbereich 103 des Reluktanzmotors weist den dargestellten Querschnitt auf. Es sind natürlich auch Reluktanzmotoren mit anderer Polzahl und Ausführungsform, z.B. Schrittmotoren anwendbar.

Natürlich ist es für alle besagten Ausführungsformen auch möglich die Mittel zur Erzeugung des Unipolarflusses, insbesondere Permanentmagnete im Rotor selbst anzuordnen. Weiter ist es auch möglich, die erfindungsgemässe Lagerung mit Drehfeldmotor-Innenstatoren und

Aussenrotoren auszuführen. Figur 9 zeigt eine solche Ausführungsform der erfindungsgemässen magnetischen Lagervorrichtung mit einem Aussenrotor 111 und einem Innenstator 112. Der Unipolarfluss, dargestellt durch die beiden Unipolarflusslinien 8 und 9, wird hier durch einen

- 33 -

axial magnetisierten Permanentmagnetring 7, welcher im Rotor 1 angebracht wird, erregt. Über Flussleitringe 16, 17 und über Rotorblechpakete 120, 121 wird er vom Rotor 1 zu den Drehfeldmaschinenstatoren 2 in

Innenstatorausführung 113, 114 geführt und schliesst sich im Innenstator 112 aus ferromagnetischem Material. Die beiden Steuerflüsse, dargestellt durch die beiden Steuerflusslinien 10 und 11, können durch die Drehstromwicklungen 115 und 116 in Betrag und Richtung gesteuert werden. Die magnetische Lagerkraftbildung erfolgt dann wie bereits beschrieben.

Werden mehrere Lagersysteme nach Figur 9 kombiniert und in eine Hohlwelle eingebaut, so lässt sich die Durchbiegung der Hohlwelle über die verschiedenen Lagerstellen beeinflussen.

. The contract of the contract

Die Figuren 11a,11b,11c zeigen jeweils einen Längsschnitt durch eine magnetische Lagervorrichtung mit eingebauten Sättigungsstellen 200, um den magnetischen Fluss eines Unipolarkreises zu begrenzen. Solche Stellen 200 können vorteilhaft sein, wenn die Lagervorrichtung 20 Permanentmagnete 7 aufweist. Wenn zum Beispiel der Rotor 1 sich direkt mit dem Drehfeldmaschinenstator 3,4 berührt, so fliesst der gesamte Unipolarfluss über diese Berührungsstelle, was einen sehr hohen magnetischen Fluss mit entsprechend hohen magentischen Haltekräfte zur Folge 25 hat. Die Sättigungsstellen 200 sind im Unipolarkreis angeordnet um den magnetischen Fluss im Unipolarflusskreis zu begrenzen. Solche Sättigungsstellen sind derart in der magnetischen Lagervorrichtung angeordnet, dass keine Sättigungsstelle 200 in den 30 Steuerflusskreis zu liegen kommt, sondern dass die Sättigungsstellen 200 ausschliesslich in Teilen liegen, die nur vom Unipolarflusskreis durchflossen sind, um derart ausschliesslich den magnetischen Fluss des

Unipolarflusskreises zu begrenzen. Im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 11a sind die Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 über ein Permanentmagnet 7 mit dem Gehäuse 18 verbunden, wobei die Wandstärke des Gehäuses derart ausgelegt ist, dass sich zwischen den Drehfeldmaschinenstatoren 3,4 eine Sättigungsstelle 200 ergibt. Im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 11b besteht das Gehäuse 18 aus zwei Teilen mit in axialer Richtung in der Mitte angeordnetem, in axialer Richtung polarisiertem Permanentmagnet, wobei das Gehäuse 18 zwei verengte Stellen 200 aufweist, welche 10 jeweils eine Sättigungsstelle 200 ausbilden. Im Ausführungsbeispiel gemäss Fig. 11c weist der in axialer Richtung verlaufende Rotor 1 einen Bereich 200 mit reduziertem Querschnitt auf, welcher eine Sättigungsstelle 200 ausbildet. Diese dargestellten 15 Ausführungsbeispiele sind nur eine Möglichkeit aus einer Vielzahl von Möglichkeiten eine Sättigungsstelle in einer magnetischen Lagervorrichtung derart anzuordnen, dass ausschliesslich der magnetische Fluss des

Unipolarflusskreises begrenzt wird.

and the second s

我们们还是这个人,我们们就是一个人,我们就是一个人,我们们就是**是**这个人

. . . . .

o como o como mesmo de la como esta como esta en esta e

The contract of the contract of the contract of

BNSDOCID: <WO\_\_\_9707340A1\_I\_>

#### Patentansprüche

- Magnetische Lagervorrichtung für einen magnetisierbaren Körper (1), insbesondere eine rotierbare Welle (1), gekennzeichnet durch mindestens zwei Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) mit je einer zweipoligen Drehfeldwicklung (5,6), wobei die zweipoligen Drehfeldwicklungen (5,6) dreiphasig ausgeführt sind, und wobei die beiden
   Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) einen Stator (2) bilden, und erste Mittel (99,7), welche in den Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) einen Unipolarfluss erzeugen.
- Magnetische Lagervorrichtung für einen magnetisierbaren Körper (1), insbesondere eine 15 rotierbare Welle (1), dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Drehfeldmaschinenstator (3,4) angeordnet ist zum magnetischen Halten des Körpers (1), dass der Drehfeldmaschinenstator (3,4) eine 20 dreiphasige Drehfeldwicklung (5,6) aufweist, dass die Drehfeldwicklung (5,6) derart ausgestaltet ist, dass ein bezüglich dem Drehfeldmaschinenstator (3,4) in radialer Richtung verlaufendes, zweipoliges magnetisches Feld erzeugbar ist, und dass erste 25 Mittel (99,7) vorgesehen sind, um im Drehfeldmaschinenstator (3,4) einen Unipolarfluss zu erzeugen.
- 3. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, gekennzeichnet durch einen dreiphasigen 30 Drehstromsteller (100) zur Ansteuerung der dreiphasigen Drehfeldwicklung (5,6).

PCT/CH96/00286

WO 97/07340

4. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch zweite Mittel (16,18), welche die Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) miteinander magnetisch koppeln.

- 36 **-**

- 5 5. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Mittel durch mindestens eine Drehfeldwicklung (5,6) ausgebildet ist, indem der Drehfeldwicklung (5,6) ein Gleichstromanteil anlegbar ist.
- 10 6. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Mittel (7,99) durch eine Ringspule (99) oder durch ein Permanentmagnet (7) ausgebildet ist.
- Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche
   bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) drei oder sechs Nuten und drei oder sechs Zähne (62,63,64,65,66,67) aufweist, und dass die dreiphasigen Drehfeldwicklungen (5,6) durch drei oder sechs
   diskrete Spulen (30,31,32,33,34,35) ausgebildet sind.
  - 8. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) als sogenannte 3T-Statoren ausgebildet sind.
- 9. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass jeder der Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) entsprechend dem Stator einer konventionellen Drehfeldmaschine ausgestaltet ist.

5

- 10. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichent, dass der im Bereich der Drehfeldmaschienstatoren (3,4) liegende Teil des Rotors (1) einen grösseren Durchmesser aufweist als der übrige Teil des Rotors (1).
- 11. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (1) als ein Innenläufer oder als ein Aussenläufer, d.h. aussenliegend um den Stator (2) angeordnet, ausgestaltet ist.
- 12. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass im Flusskreis des Unipolarflusses eine Sättigungsstelle (200) angeordnet ist.
- 13. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass in mindestens einem der Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) eine zusätzliche Drehstromwicklung mit der Polpaarzahl grösser oder gleich 3 angeordnet ist.
- 20 14. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich eine Antriebsvorrichtung angeordnet ist, welche einen Antrieb des Rotors (1) nach dem Prinzip eines Unipolarmotors erlaubt.
- 25 15. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) eine magnetische Radiallagereinheit bilden, wobei die entsprechenden Phasen der zweipoligen Drehfeldwicklungen (5,6) mit entgegengesetztem Wicklungssinn elektrisch parallel oder in Serie geschalten sind.

- 16. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, gekennzeichnet durch mindesten einen im Stator (2) zwischen den beiden Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) angeordneten Positionssensor (12,13,14,15), um die Lage des Rotors (1) zu erfassen.
- 17. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine mit dem Rotor (1) fest verbundene Axiallagerscheibe (86) aus ferromagnetischem Material zwischen den 10 Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) verlaufend angeordnet ist, um für die beiden Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) zwei getrennte, einander entgegengerichtete Unipolarflusskreise zu ermöglichen, wobei die beiden 15 Unipolarflüsse im Rotor (1) in entgegengesetzter Richtung verlaufen, und dass eine konzentrisch zum Rotor (1) verlaufende Ringspule (87) im Stator (2) angeordnet ist um einen Axialsteuerfluss zu erzeugen, welcher sich in axialer Richtung über die besagte 20 Axiallagerscheibe (86) schliesst.
- 18. Magnetische Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass für zwei Drehfeldmaschinenstatoren (3,4) zwei getrennte, einander entgegengerichtete Unipolarflusskreise vorhanden sind, welche Unipolarflusskreise einen gemeinsamen Unipol aufweisen, und dass der gemeinsame Unipol über einen Reluktanzmotor geführt ist, wobei der Reluktanzmotor durch die besagten Unipolarflüsse magnetisch vorgespannt ist.
- 30 19. Verfahren zum Betrieb einer magnetischen Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Lage des Körpers (1) in einer x- und y-Richtung durch einen Sollwert

(Xsoll, Ysoll) vorgebbar ist, dass mit einem
Positionssensor (12,13,14,15) die Lage des Körpers
(1) in x- und y-Richtung erfasst wird, dass die
Regelabweichung in x- und y-Richtung berechnet wird
und über eine 2/3-Phasen-Transformation die
Sollstromwerte (isollu, isollv) für eine
Stellvorrichtung, insbesondere einen dreiphasigen
Drehstromsteller (100), berechnet und diesem
vorgegeben werden, sodass die dreiphasige
Drehfeldwicklung (5,6) derart mit Strom versorgt
wird, dass die Lage des Körpers (1) dem vorgebbaren
Sollwert (Xsoll, Ysoll) entspricht.

20. Vorrichtung umfassend eine magnetische
 Lagervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18
 oder betrieben mit einem Verfahren nach Anspruch 19.

version of the second s

e in the state

in the sign of the

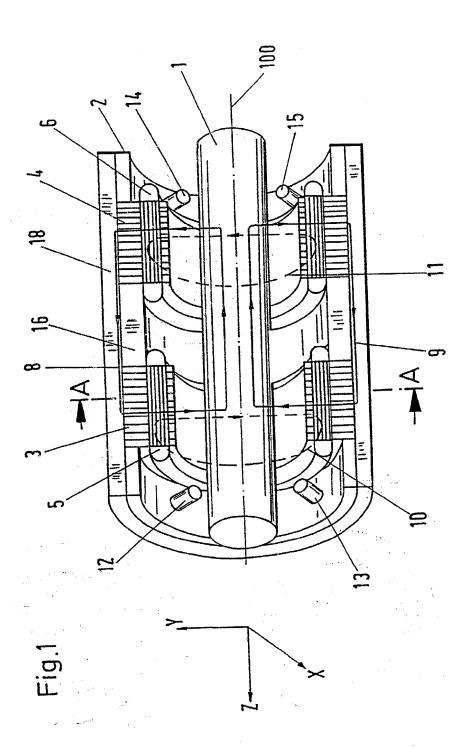
\* . . \*

nna é .

and the second section of the second section is a second section of the second section of the second section of

in the state of th

BNSDOCID: <WO\_\_\_9707340A1\_I\_>



ERSATZBLATT

Fig.1a

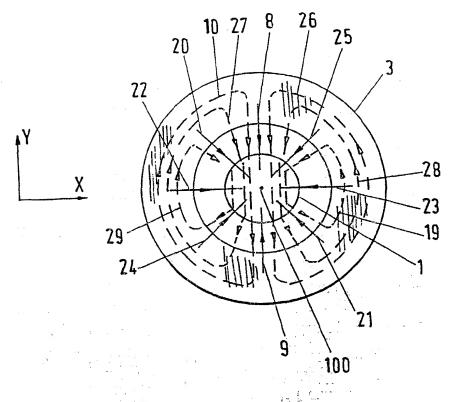
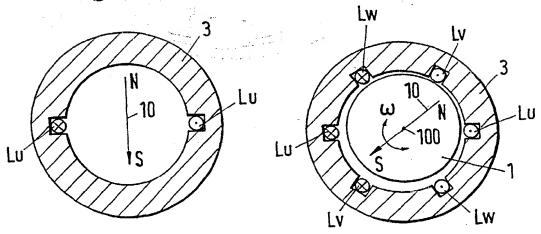
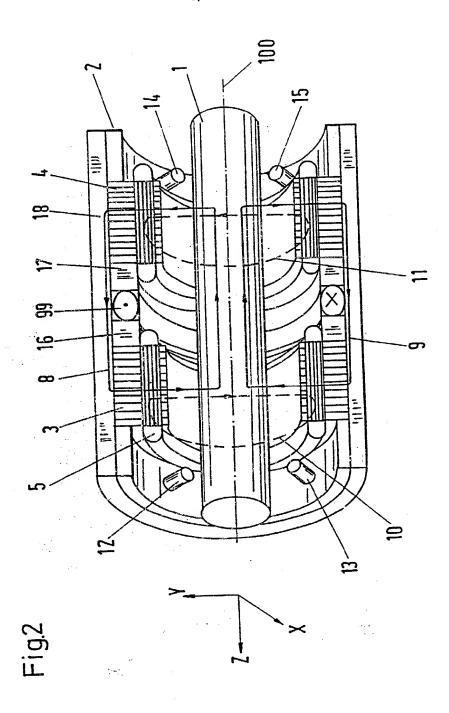


Fig. 1c

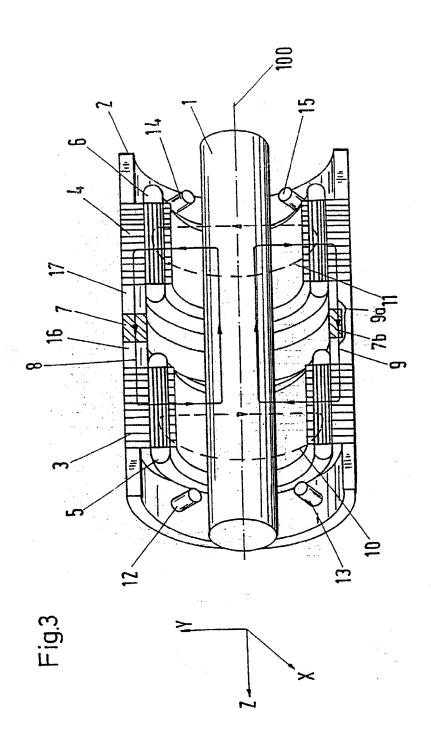
Fig. 1b



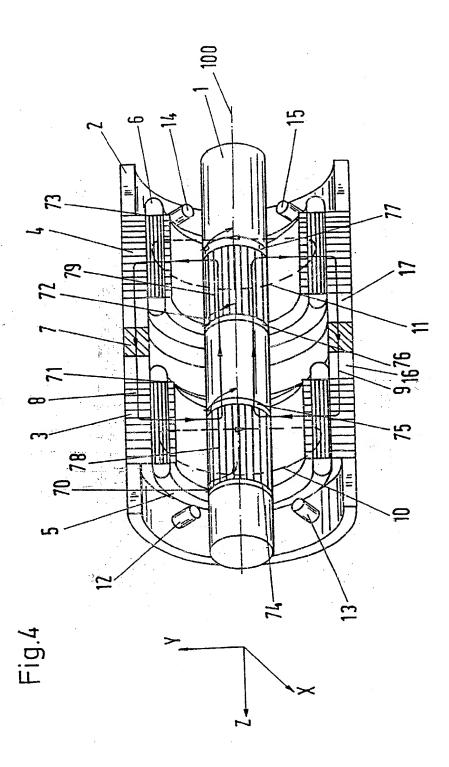
**ERSATZBLATT** 



ERSATZBLATT

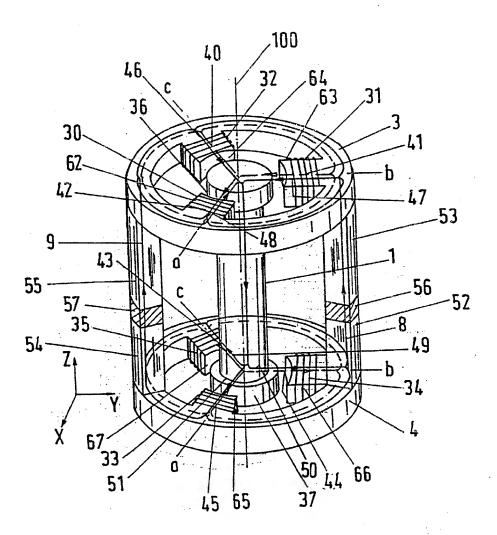


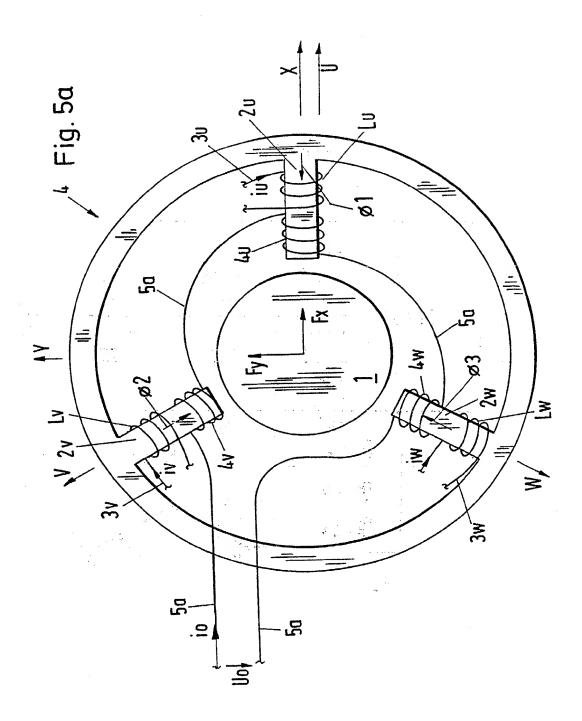
ERSATZBLATI



ERSATZBLATT

Fig.5





**ERSATZBLATT** 

Fig.5b

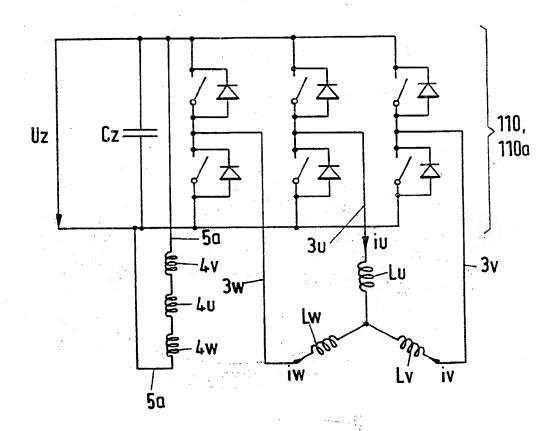
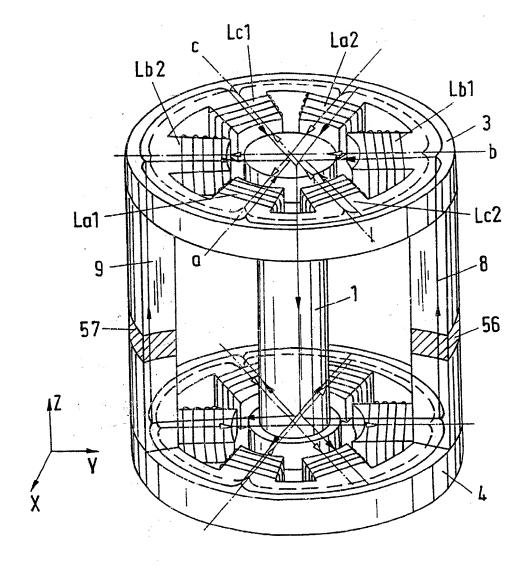
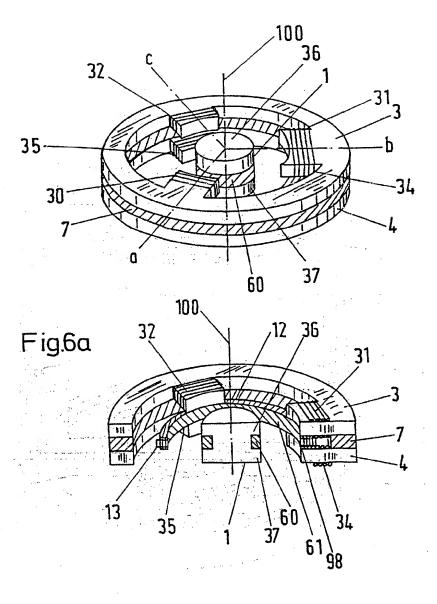


Fig. 5c



RERSATZBLATT

Fig.6



**ERSATZBLATT** 

11/20

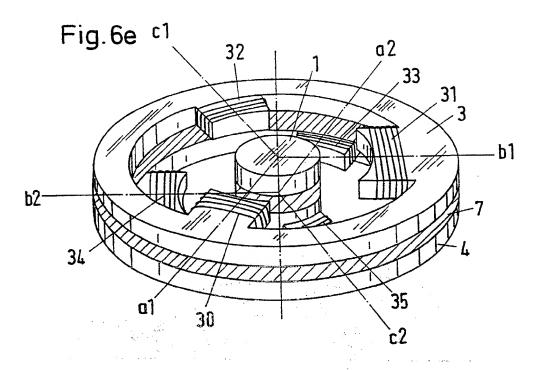
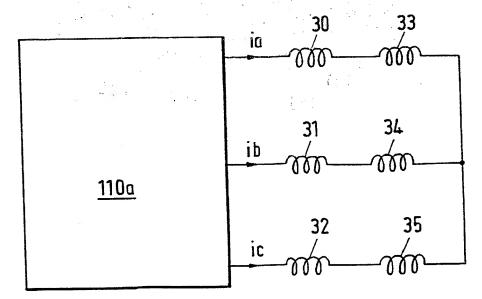
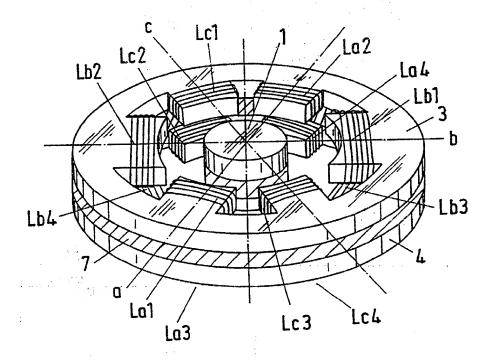


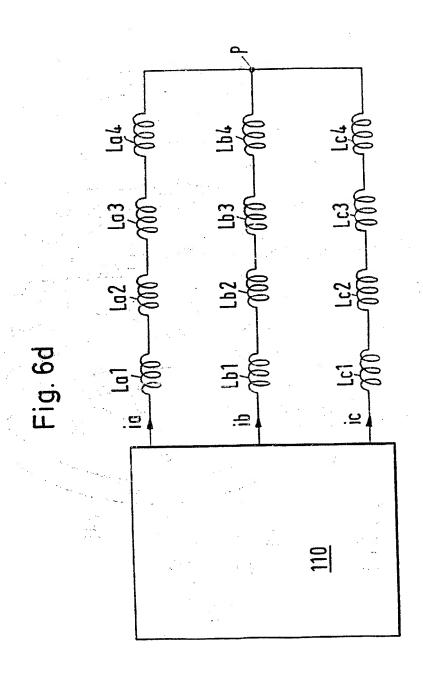
Fig.6b



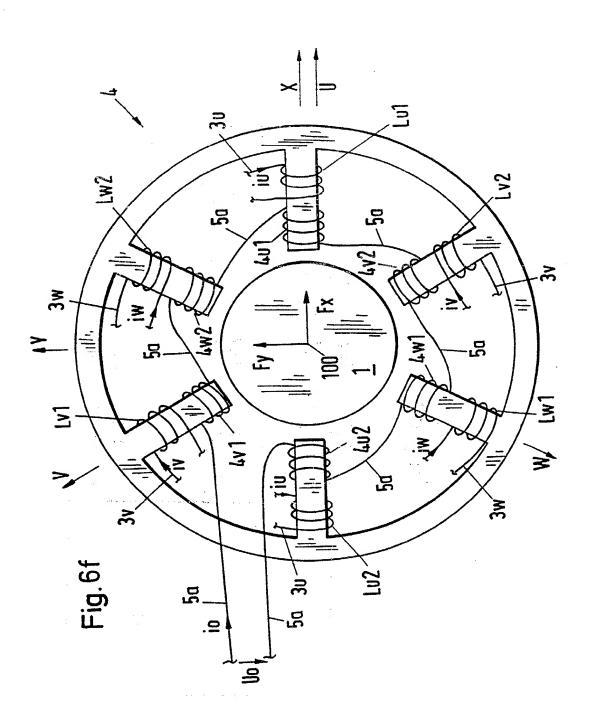
ERSATZBLATT

Fig.6c

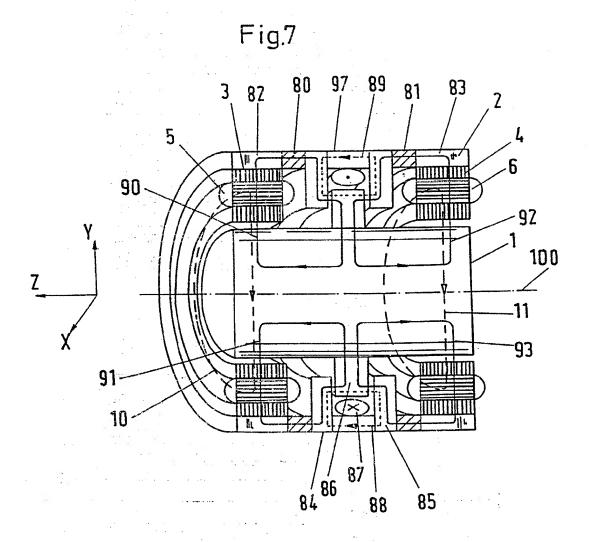




**ERSATZBLATT** 



**ERSATZBLATT** 



ERSATZBLATT

Fig.7c

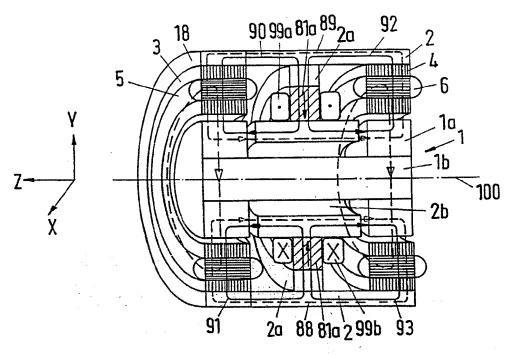
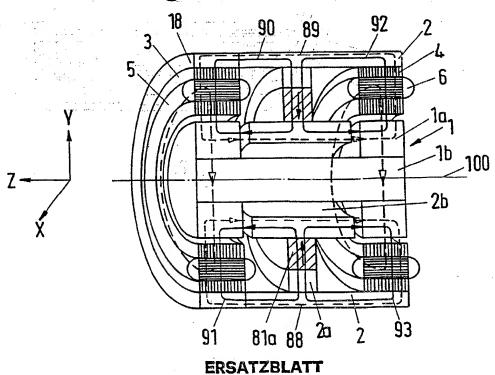
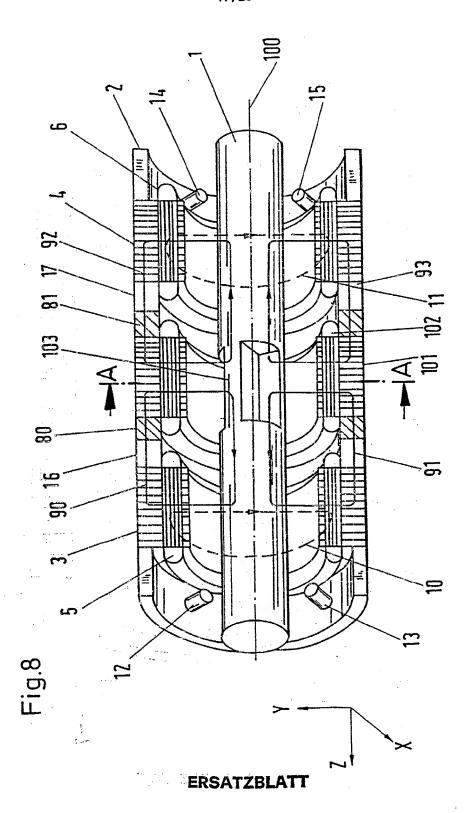
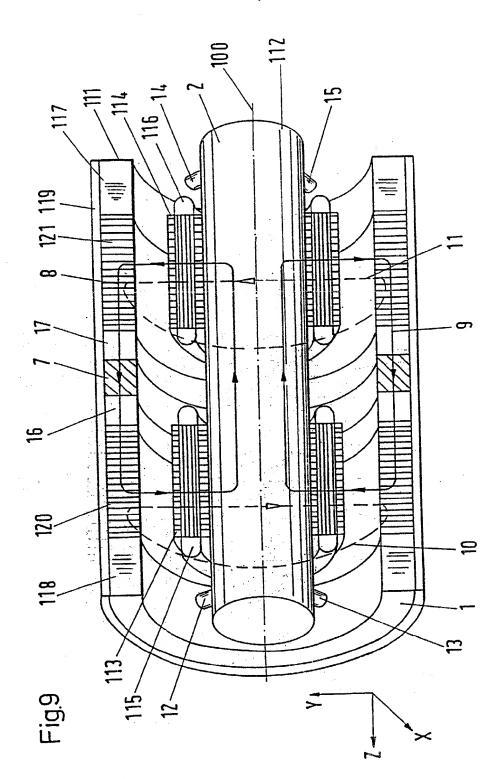


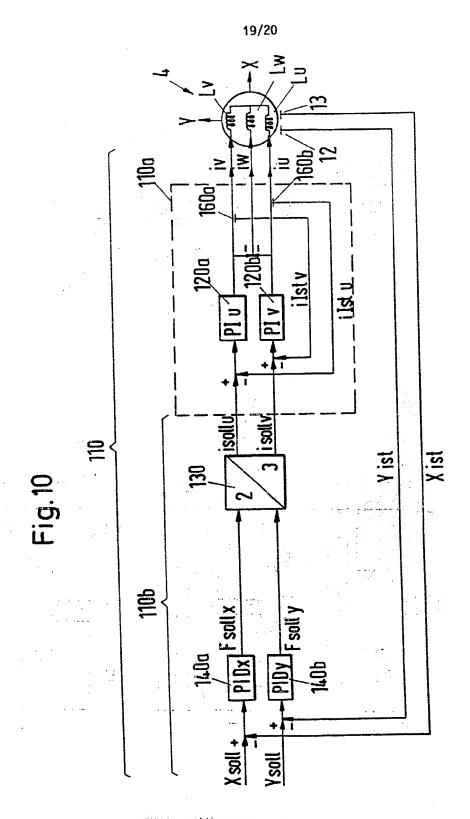
Fig. 7b



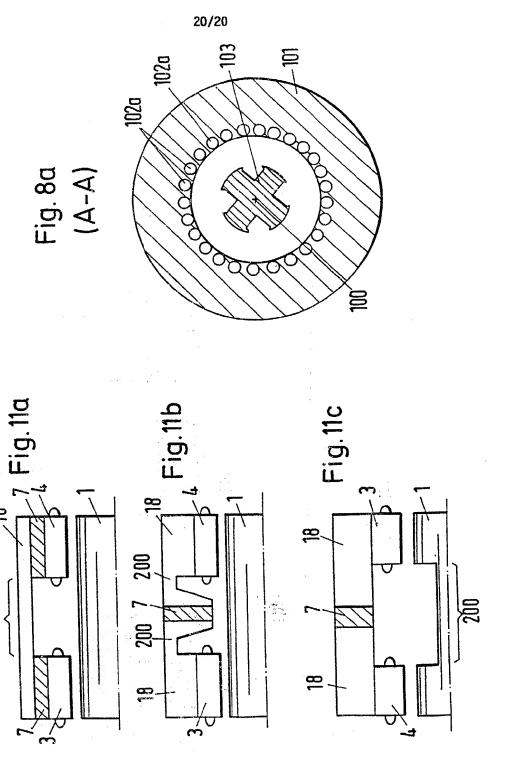




ERSATZBLATT



ERSATZBLATT



ERSATZBLATT

### INTERNATIONAL SEARCH REPORT

inter onal Application No PCT/CH 96/00286

		PCT/CH 96/00286
A. CLASS	ification of subject matter F16C39/06	
	400	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and	I IPC
	S SEARCHED locumentation searched (classification system followed by classification symbols	9
IPC 6	F16C H02K	<del>-</del> 7
Documenta	non searched other than minimum documentation to the extent that such documentation the extent that the extent that such documentation the extent that the exten	ents are included in the fields searched
	•	
		*
lectronic d	lata base consulted during the international search (name of data base and, when	re practical, search terms used)
	· ·	
. DOCUM	MENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT	
ategory *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant pass	Relevant to claim No.
Y	W0,A,90 14525 (R.C.MEEKS) 29 November 1	
4	see page 8, line 35 - page 16, line 4; tables 1-8	8,10,11, 16,19
	****	
Y	EP,A,O 191 225 (DIRECTOR-GENERAL OF	1,4-6
	NATIONAL AEROSPACE LABORATORY; TOSHIBA K.K.) 20 August 1986	
A	see page 6, line 19 - page 12, line 25:	11.18
	tables 3-7	
.,	DE 4 04 06 700 (1105) The Difference	
Y	DE,A,24 06 790 (LICENTIA PATENT VERWALTUNGS GMBH) 14 August 1975	1,4-6
Α -	see page 7, line 22 - page 13, line 20:	3,7,16
	tables 1-3	
	-/	
		· ·
-		
X Fun	ther documents are listed in the continuation of box C.	atent family members are listed in annex.
Special ca	negones of cited documents:	
'A' docum	or pri	locument published after the international filing date ionity date and not in conflict with the application but
CORSTO	iered to be of particular relevance inven	
filing	date canno	nent of particular relevance; the claimed invention at be considered novel or cannot be considered to
which	is cited to establish the publication date of another 'Y' docum	we an inventive step when the document is taken alone nent of particular relevance; the claimed invention
O' docum	the or other special reason (as specifical)  cannot referring to an oral disclosure, use, exhibition or document referring to an oral disclosure, use, exhibition or	ot be considered to involve an inventive step when the ment is combined with one or more other such docu-
"P" docum	ent published prior to the international filing date but in the	
later t	han the priority date claimed "&" docur	nent member of the same patent family
Date of the	actual completion of the international search  Date of	of mailing of the international search report
2	22 October 1996	0 6. 11. 96
Name and		rized officer
	European Patent Office, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk	
	Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,	Weihs, J

Form PCT/ISA/218 (second sheet) (July 1992)

### INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter onal Application No PCT/CH 96/00286

		PCT/CH 96/00286
C.(Continua	tion) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT	
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
4	US,A,4 732 353 (P.A.STUDER) 22 March 1988	1,6,11, 16
	see column 1, line 52 - column 2, line 5 see column 3, line 36 - column 5, line 60; tables 4-8	
4	WO,A,95 05700 (AVCON-ADVANCED CONTROLS TECHNOLOGY, INC.) 23 February 1995 see page 10, line 16 - page 14, line 35; tables 1-4	1,6,17
* .	DE,A,23 58 527 (LICENTIA PATENT VERWALTUNGS GMBH) 28 May 1975 see page 1, line 12 - page 17, line 23; tables 1-5	1-4
4	EP,A,O 612 928 (KOYO SEIKO CO.,LTD.) 31 August 1994 cited in the application see page 3, line 36 - page 4, line 44; tables 1,2	19
, .		
	The state of the second	AND THE SECOND S
· .	The state of	
		energy of the second of the se
		7

1

Form PCT/ISA/218 (continuation of second sheet) (July 1992)

### INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Inter mal Application No PCT/CH 96/00286

Patent document cited in search report	Publication Patent family date member(s)			Publication date	
WO-A-9014525	29-11-90	US-A- CA-A,C	5111102 2064094	05-05-92 26-11-90	
		DE-D-	69022588	26-10-95	
		DE-T-	69022588	04-04-96	
		EP-A-	0473723	11-03-92	
		JP-T-	5502084	15-04-93	
		US-A-	5216308	01-06-93	
EP-A-191225	20-08-86	JP-B-	1002813	18-01-89	
		JP-C-	1526132	30-10-89	
		JP-A-	61175314	07-08-86	
		US-A-	4652780	24-03-87	
DE-A-2406790	14-08-75	DE-A-	2457084	10-06-76	
		GB-A-	1500809	15-02-78	
		NL-A-	7501466	12 <b>-0</b> 8-75	
US-A-4732353	22-03-88	NONE			
W0-A-9505700	23-02-95	US-A-	5315197	24-05-94	
		US-A-	5514924	07-05-96	
DE-A-2358527	28-05-75	GB-A-	1478868	06-07-77	
		NL-A-	7415035	22-05-75	
EP-A-612928	31-08-94	JP-A-	6249238	06-09-94	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter Juales Aktenzerchen
PCT/CH 96/00286

		1 101/01/30	7,00200
A. KLASS IPK 6	IFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES F16C39/06		
Nach der Ir	nternationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen K	lassifikation und der IPK	
	ERCHIERTE GEBIETE		
Recherchies IPK 6	rter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymt F16C H02K	ode )	
Recherchier	rte aber meht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, s	oweit diese unter die recherchierten Gebiet	e fallen
Während de	er internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (N	larne der Datenbank und evtl. verwendete	Suchbegriffe)
	*		
	<u> </u>		
	-		
C. ALS W	ESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angai	ne der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y A	WO,A,90 14525 (R.C.MEEKS) 29.November 1990 siehe Seite 8, Zeile 35 - Seite 16, Zeile 4; Tabellen 1-8		1,4-6 8,10,11, 15,19
1	EP,A,O 191 225 (DIRECTOR-GENERAL OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY; TOSHIBA K.K.) 20.August 1986		1,4-6
4	siehe Seite 6, Zeile 19 - Seite 1 25; Tabellen 3-7	11,18	
Y A	DE,A,24 06 790 (LICENTIA PATENT VERWALTUNGS GMBH) 14.August 1975 siehe Seite 7, Zeile 22 - Seite 1 20; Tabellen 1-3	.3, Zeile	1,4-6 3,7,16
		·/	
V .v.	tere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu	Side Advan Deletionilli	
entn	ehmen	X Siehe Anhang Patentfamilie	
A Veröff aber n E alteres Anme L Veröff schein andere soll or ausgef O Veröff eine B	entlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definieri,  icht als besonders bedeutsam anzuschen ist.  Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen  Idedatum veröffentlicht worden ist  entlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft er- en zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer  m im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden  der die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie  führt)  entlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,  kenutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht  grullschung, die vor dem internationalen Anneldedatum, aber nach	"T" Spätere Veröffentlichung, die nach der oder dem Prioritätsdatum weröffentlich Anmeldung micht kollidiert, sondern in Erfindung zugrundeliegenden Prinzips Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bede kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung von besonderer Bede kann nucht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betr. "Y" Veröffentlichung von besonderer Bede kann nucht als auf erfinderischer Tätig werden, wenn die Veröffentlichung m Veröffentlichungen dieser Kategone: in dese Verbindung für einen Fachmann "&" Veröffentlichung, die Mitglied derseib	ht worden ist und mit der nur zum Verständnis des der coder der ihr zugrundeliegender nurung, die beanspruchte Erfindi- schung nicht als neu oder auf achtet werden nutung, die beanspruchte Erfindi- keit beruhend betrachtet it einer oder mehreren anderen n Verbindung gebracht wird und n naheliegend ist
Datum des	Abschiusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Re	cherchenberschts
2	2.0ktober 1996	O 6.	11. 96
Name und	Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentiaan 2	Bevollmächtigter Bediensteter	
4.	NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo ni, Fax: (+ 31-70) 340-3016	Weihs, J	

Formbiatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inter phales Aktenzerchen
PCT/CH 96/00286

(Fortsetzu	ng) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		21.74
tegone°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommende	n Teile	Betr. Anspruch Nr.
	US,A,4 732 353 (P.A.STUDER) 22.März 1988	<u>,</u>	1,6,11,
	siehe Spalte 1, Zeile 52 - Spalte 2, Zeile		
	siehe Spalte 3, Zeile 36 - Spalte 5, Zeile 60; Tabellen 4-8		
	WO,A,95 05700 (AVCON-ADVANCED CONTROLS TECHNOLOGY, INC.) 23. Februar 1995 siehe Seite 10, Zeile 16 - Seite 14, Zeile 35; Tabellen 1-4		1,6,17
	DE,A,23 58 527 (LICENTIA PATENT VERWALTUNGS GMBH) 28.Mai 1975 siehe Seite 1, Zeile 12 - Seite 17, Zeile 23; Tabellen 1-5		1-4
	EP,A,O 612 928 (KOYO SEIKO CO.,LTD.) 31.August 1994 in der Anmeldung erwähnt		19
	siehe Seite 3, Zeile 36 - Seite 4, Zeile 44; Tabellen 1,2		is .
		ب	
			,
			·

1

Formblatt PCT/ISA/210 (Fortsetzung von Blatt 2) (Juli 1992)

#### INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentsamilie gehören

Inter unales Aktenzeichen
PCT/CH 96/00286

Im Recherchenbericht ngeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO-A-9014525	29-11-90	US-A- 511110 CA-A,C 206409 DE-D- 6902258 DE-T- 6902258 EP-A- 047372 JP-T- 550208 US-A- 521630	4 26-11-90 8 26-10-95 8 04-04-96 3 11-03-92 4 15-04-93
EP-A-191225	20-08-86	JP-B- 100281 JP-C- 152613 JP-A- 6117531 US-A- 465278	2 30-10-89 4 07-08-86
DE-A-2406790	14-08-75	DE-A- 245708 GB-A- 150080 NL-A- 750146	9 15-02-78
US-A-4732353	22-03-88	KEINE	
W0-A-9505700	23-02-95	US-A- 531519 US-A- 551492	
DE-A-2358527	28-05-75	GB-A- 147886 NL-A- 741503	
EP-A-612928	31-08-94	JP-A- 624923	8 06-09-94